



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

Sommaire

Le mot du bureau (F. Gardi)	1
Entretien avec Denis Montaut	2
Des plans sur la comète (C. Artigues, E. Hébrard, P. Lopez, G. Simonin)	6
An equation-free introduction to derivative-free optimization (G. Nannicini)	10
ROADEF/EURO Challenge 2016 (E. Bourreau, V. Jost, S. Kedad-Sidhoum, D. Savourey)	14
Vie du GdR RO (A. Quilliot, A. Malapert, S. Kedad-Sidhoum)	14
Compte rendu de la 33ème JFRO (F. Delbot, M. Lacroix, A. Lambert, T. Lust, F. Sikora)	17
The vehicle routing problem repository (J. Men- doza, C. Guéret)	17
Enigmes (D. Cornaz, J.-Y. Lucas)	17

Le mot du bureau

par **Frédéric Gardi**

Chers collègues,

Vous l'attendiez avec impatience : l'édition estivale du Bulletin de la ROADEF est là ! Vous l'aurez peut-être remarqué, ce bulletin ne ressemble pas tout à fait aux précédents. Olivier Spanjaard, son éditeur, a travaillé à son rajeunissement : nouveaux contenus, nouveau format. Avec la couleur en prime ! Nous espérons que vous l'apprécierez.

Dans cette édition, vous trouverez une interview d'un vieux briscard de la RO/AD française : Denis Montaut. Qui ne connaît pas Denis : PDG d'Eurodecision (Versailles), qu'il a fondée une trentaine d'années auparavant avec Eric Jacquet-Lagrèze, devenue première société française de services en RO/AD par son chiffre d'affaires (plus de 5 millions d'euros en 2014, une soixantaine de salariés). Denis nous offre en quelques pages ses retours d'expérience sur trente années de métier en RO/AD, en tant qu'ingénieur, manager d'équipe, gérant d'entreprise. Christian Artigues, Emmanuel Hébrard, Pierre Lopez et Gilles Simonin du LAAS-CNRS (Toulouse) nous décrivent comment les techniques de satisfaction de contraintes contribuent à l'incredible aventure spatiale de la sonde Rosetta et de son

petit robot Philae. Giacomo Nannicini, chercheur au NUST (Singapour), 1er Prix Robert Faure 2015, nous présente un état de l'art en optimisation "boîte noire", c'est-à-dire lorsque certaines fonctions du modèle, objectifs ou contraintes, ne peuvent être évaluées analytiquement mais par appel à des codes externes au modèle (par exemple, un simulateur en mécanique des fluides). Enfin, vous trouverez pêle-mêle quelques nouvelles du Challenge ROADEF 2016 dont le sujet sera dévoilé en juillet à EURO 2015 à Glasgow, des nouvelles du GdR RO, un bilan des récentes JFRO dédiées à l'optimisation combinatoire multi-objectif, un mot sur la nouvelle plateforme collaborative VRP-REP rassemblant des instances de problèmes de tournées de véhicules, et quelques énigmes mathématiques pour la plage !

Je profite également de ces lignes pour revenir sur quelques événements importants dans la vie de notre association. Tout d'abord, un mot sur le congrès ROADEF 2016 qui s'est tenu à Marseille du 25 au 27 février 2015. Organisé par Lyes Benyoucef et Jean-Claude Hennet du LSIS, sur le site Saint-Charles de l'Université Aix-Marseille, le congrès a rassemblé plus de 420 participants – enseignants, chercheurs, praticiens – dont plus d'une centaine de doctorants. Nous remercions encore Lyes et Jean-Claude pour cette belle édition du congrès ROADEF au programme haut en couleur : 320 communications organisées en 12 sessions thématiques parallèles, 17 sessions spéciales (dont 2 tracks : GT2L, GOTHA), 5 exposés pléniers, 6 tutoriels en semi-plénières organisés par le GDR RO, le lancement du Challenge ROADEF 2016 posé par Air Liquide, le Prix Jeune Chercheur et le Prix Robert Faure... ouf ! Par ailleurs, il ne vous aura pas échappé qu'un nouveau bureau a été élu (124 votes pour, 5 votes blancs) qui prendra ses fonctions début 2016. Nous félicitons les membres de ce nouveau bureau - Sourour Eilloumi (présidente), Aziz Moukrim (secrétaire), Nicolas Jozefowicz (trésorier), Antoine Jeanjean (web), Anna Robert (bulletin), Sophie Demassez (relations extérieures), Meltem Öztürk (promotion). En collaboration avec ce nouveau bureau, nous prévoyons quelques surprises pour la rentrée de septembre, ainsi que pour le prochain congrès ROADEF qui se tiendra à Compiègne du 10 au 12 février 2016. Nous espérons vous y retrouver nombreux !

En vous souhaitant à tous de belles vacances estivales.

Éditeur Frédéric Gardi, Innovation 24, filiale Optimisation & Aide à la Décision du Groupe Bouygues
Siège social Institut Henri Poincaré, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05
Publication Olivier Spanjaard, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, UMR 7606, LIP6, F-75005, Paris
Site web <http://www.roadef.org>
Langues officielles Français et anglais

Entretien avec Denis Montaut

par **correspondance électronique (O. Spanjaard)**



Denis Montaut est PDG de la société Eurodécision, qu'il a cofondée en 1987 avec Eric Jacquet-Lagrèze, et dont la vocation est de fournir des solutions d'aide à la décision à base d'optimisation des ressources et de business analytics (en logistique, production, ressources humaines, revenue management).

Votre parcours

Pouvez-vous vous présenter et nous dire comment vous êtes arrivé à la RO ?

La RO est venue à moi, plus que je suis venu à elle, c'est le hasard des rencontres qui a fait que c'est devenu mon métier. A l'origine, mes études m'ont conduit à me spécialiser en méthodes quantitatives et systèmes d'information. Je me suis d'abord plongé dans les statistiques et l'économétrie avec une certaine jubilation : elles permettent de mieux comprendre, décrire, prévoir les phénomènes complexes qui font le quotidien des organisations et des marchés. J'ai compris l'intérêt de la RO lors de mon passage au LAMSADE, où j'ai suivi l'enseignement de Bernard Roy et d'Eric Jacquet-Lagrèze : ce fut un changement de posture puisque en passant par une compréhension intime des phénomènes ("modélisation") il s'agit de se tourner plus vers le côté "acteur" (aide à la décision) en utilisant les modèles. Le côté "appliqué" des maths appliquées me passionne, car il fait de cette discipline un champ de créativité pour agir sur le réel.

Enfin, bien sûr, la confirmation de l'inoculation du virus est apparue lorsqu'Eric m'a fait l'insigne honneur de me proposer de m'associer à lui dans l'aventure EURODECISION.

Diriger une société de services en RO

Pouvez-vous nous décrire la journée-type d'un dirigeant d'une société de services en RO ?

Je ne suis pas sûr qu'une de mes journées-types soit très différente de celle de n'importe quel dirigeant d'une société de service ou d'édition de moins de 100 collaborateurs. Il est important de noter qu'EURODECISION reste avant tout une PME, et que, à ce titre, je reste très impliqué dans les opérations quotidiennes des projets que nous menons pour nos clients et de notre activité de R&D. Cela dit, la préoccupation qui m'habite quotidiennement est de façonner une stratégie cohérente avec l'aide de l'équipe qui m'entoure, et de développer l'activité. Je passe un temps important à communiquer avec l'extérieur (clients, partenaires, fournisseurs), et l'équipe interne (directeurs, responsables de pôles, chefs de projets, consultants et développeurs), dans le but de créer et consolider les liens qui font d'EURODECISION un projet plus solide.

Cela se traduit par une répartition de mon énergie entre : effort commercial, direction de projets, pilotage de la R&D/innovation en lien avec le marketing et aussi activités de gestion (Finance, RH). Un peu dispersé, me direz-vous, ou alors

des très longues journées ? Non, au fil des ans, j'ai appris à déléguer (et ce n'est pas simple quand on sait que dans l'équipe d'origine, nous étions deux !), et la direction d'EURODECISION est aujourd'hui véritablement collégiale.

On vous imagine très pris par vos activités de direction. Malgré tout, vous sentez-vous toujours chercheur opérationnel ?

Le passage de l'équipe en création où l'essentiel de mon activité était consacré à ce qui me passionnait (modélisation, développement d'applications, R&D) à la société plus mature où mon rôle managérial a fini par prendre le pas sur celui de "techos" ne s'est pas fait sans sa petite dose de frustrations : la part de mon temps consacrée à des tâches techniques s'est naturellement réduite... Mais je continue à apporter de l'expertise sur certains projets, je maintiens une activité de modélisation et prototypage rapide. Et surtout, le regard que je porte sur les problématiques de nos clients reste celui d'un chercheur opérationnel, au travers de l'analyse, de la recherche des leviers décisionnels, des critères d'optimisation, de l'identification des enjeux. Ce regard est indispensable dans les phases d'avant-vente et j'espère, je crois qu'il permet de construire des offres plus pertinentes.

Enfin, je maintiens une activité d'enseignement (de l'ordre de 80 heures par ans). Je vis l'exercice pédagogique comme un ballon d'oxygène, une salvatrice remise en cause au contact des étudiants, et une mission de dissémination et de sensibilisation à l'utilité de la démarche RO auprès des futurs acteurs des organisations.

La RO nécessite-t-elle un type de management des équipes et des collaborateurs particuliers ? Si oui lequel ?

Nos collaborateurs ont souvent une grande appétence pour les "beaux" problèmes, leur variété ; les retombées objectives des projets auxquels ils participent chez nos clients sont autant de réponses gratifiantes. Cela signifie qu'il faut être en mesure de les nourrir avec des projets variés et comportant suffisamment de défis techniques pour maintenir un bon niveau de motivation.

Le défi managérial est de les faire entrer dans la réalité d'une entreprise qui doit vivre de son activité sur le long terme : apprendre à s'investir dans des offres plus verticalisées signifie accepter une certaine dose de spécialisation et de patience. Le développement d'un produit exige également une discipline inhérente à une démarche qualité à laquelle ils ne sont pas forcément préparés pendant leur cursus universitaire. Enfin, un projet d'aide à la décision dont la clef de voûte est un modèle de RO nécessite beaucoup d'efforts sur des sujets qui relèvent plutôt du génie logiciel (IHM, intégration, architecture, etc.), ou de la mise en forme de données/résultats et leur interprétation métier. Il est nécessaire de montrer aux équipes que cette partie du travail est indispensable et, elle aussi, source de satisfactions.

La RO chez Eurodécision

Quels profils recrute-t-on chez Eurodécision ? Comment évoluent ensuite les ingénieurs RO chez Eurodécision ?

Les collaborateurs que nous recherchons (et nous en recherchons, avis aux amateurs !) doivent avoir bien sûr une double compétence en mathématiques appliquées et en dé-

veloppement informatique (de plus en plus dans des architectures web), mais aussi une vraie capacité à entrer dans la réalité du métier de nos clients et un bon sens de l'écoute. Leur vocation est de faire le lien entre la problématique métier et les approches/outils de l'aide à la décision.

Nous les recrutons essentiellement à la sortie d'écoles d'ingénieurs ou d'universités, certains d'entre eux (20%) avec un doctorat en poche. Nous apprécions la variété des filières, qui fait une des richesses de l'entreprise, et recrutons aussi bien les profils "parisiens" que "provinciaux". Une bonne culture RO et de technologies de l'information est demandée, de la rigueur, de l'autonomie, mais aussi des qualités humaines pour venir agrandir une équipe que je tiens à garder chaleureuse.

Les premiers postes proposés sont pour des fonctions d'ingénieur ou de consultant junior qui rejoindront l'équipe sous la responsabilité d'un responsable de pôle. Assez naturellement, au bout de 2 à 3 ans, nous proposons d'évoluer vers des postes de senior qui conduiront petit à petit à piloter des projets, ou des postes d'experts dont la vocation est de cultiver et d'apporter des compétences spécifiques aux projets.

Ceux qui souhaitent se tourner vers des postes plus managériaux pourront ensuite devenir responsables de pôle : pilotage d'une équipe de 6 à 15 personnes, responsable d'offre, implication dans la stratégie de l'entreprise.

D'autres peuvent décider de rejoindre l'équipe commerciale pour promouvoir l'offre de produits et services chez nos clients présents et futurs (tous nos commerciaux sont d'anciens consultants ou ingénieurs).

Eurodécision réinvestit chaque année 15% de son revenu en R&D. Quelle est en moyenne la part de l'ingénierie et celle de la recherche dans un projet de RO chez Eurodécision ? Comment se passent les interactions avec le monde académique ?

L'équipe RDI (pour "Recherche, Développement, Innovation") joue un rôle clé dans la stratégie d'EURODECISION. En lien avec l'équipe marketing et commerciale, c'est elle qui donne les impulsions d'innovation et construit nos offres futures. Elle pilote tous nos projets R&D, dont elle peut soustraire une partie du travail dans le reste de l'équipe. Nous essayons d'y maintenir un certain turn-over interne pour qu'elle garde toujours en elle la connaissance de la réalité des besoins de notre marché. Enfin, elle prend en charge certains projets clients jugés plus risqués parce qu'incluant une dose significative de R&D.

Le "I" (pour "innovation") de RDI est important : l'objectif que nous nous donnons ici est de bâtir de nouvelles offres en lien avec les besoins du marché. Au risque de provoquer un tantinet mes amis de la communauté, je dirais qu'un produit métier incluant de la RO peut être vu comme extrêmement innovant par le marché, même s'il s'appuie sur un paradigme ultra-connu dans le monde de la RO, dans la mesure où il révolutionne la manière d'organiser un processus métier et augmente significativement sa performance sur un critère reconnu. Pour être crédibles chez nos clients, il arrive un moment où nous devons accepter de spécialiser certaines de nos offres en mettant en avant l'apport métier plus que la performance technologique (même si elle est bien souvent là !). Il ressort de cette stratégie trois plates-formes verticales (en Revenue Management, Supply Chain Design et Planification des Ressources Humaines), qui permettent

déjà d'aborder rapidement un large éventail de problématiques, et qui ont vocation à continuer de s'enrichir au fil du temps.

Si je regarde de l'autre côté de l'Atlantique (et sans vouloir tomber dans le French Bashing !), je dois reconnaître que nous avons encore du progrès à faire pour donner corps à des collaborations académie/industrie vraiment denses, récurrentes, profitables et équilibrées. Nous souffrons encore de préjugés (dans les deux mondes) et aussi de freins réglementaires et institutionnels qui ralentissent le processus, et qui font que, par exemple, il n'est pas toujours confortable pour un universitaire de développer des activités économiques parallèlement à son travail d'enseignant-chercheur. Cela dit, entretenir de bonnes relations avec le monde académique fait partie de nos musts puisque nous cueillons régulièrement les fruits des travaux des chercheurs pour alimenter notre innovation, et nous nous impliquons régulièrement dans les programmes d'enseignement et de recherche de certains établissements à la sortie desquels nous recrutons nos jeunes.

Concrètement, nous sommes plusieurs de l'équipe à dispenser des cours de RO appliquée dans certains cursus connus (3^{ème} année et Mastères de l'ECP, 3^{ème} année de l'ENSAI, Ecole des Mines de Nantes, Mastère Parisien de RO, Mastères spécialisés de l'ESSEC, Institut Français du Pétrole...). D'autres collaborations se sont développées dans le cadre de projets collaboratifs (nous avons achevé récemment un projet ANR avec le PRISM et le CReSTIC sur les problématiques d'optimisation de conception de l'offre de transport public). Enfin, nous sommes toujours intéressés par les collaborations avec des écoles et universités au travers de thèses CIFRE et de stages.

De votre expérience, quelle est en moyenne la part de l'informatique et la part des mathématiques dans un projet de RO ? Peut-on faire de la RO en entreprise sans programmer ? Sans aimer la programmation ou l'informatique ?

Quand on parle de projet "vendu" à un client, on préférera limiter les incertitudes liées à la faisabilité technique de la partie RO, surtout lorsque les aspects contractuels sont contraignants avec une obligation de résultat. Un tel projet, c'est généralement 20% de RO pure et 80% d'autre chose (développement d'interfaces, architecture, intégration, conseil, etc.). L'"autre chose", c'est tout ce qui permet de mettre la puissance du modèle à portée de main de l'utilisateur métier. C'est une partie indispensable, car un modèle seul, aussi puissant et beau fût-il, est totalement inutile pour quelqu'un du métier, et donc sans valeur. Donc, dans notre culture d'entreprise, l'amour de la RO va de pair avec celui de l'informatique, cela va de soi car notre projet c'est d'en vivre !

Il semble y avoir une grande variété de problématiques métiers abordées chez Eurodécision. Y a-t-il des difficultés spécifiques aux problèmes rencontrés dans chaque métier ?

Plus que le métier, c'est me semble-t-il l'horizon de décision qui est souvent le plus déterminant pour évaluer la complexité d'une solution à base d'optimisation. Paradoxalement, les problématiques stratégiques, qui couvrent des périmètres larges (à l'échelle du continent), et qui concernent des décisions de long terme à fort enjeu, produisent des

données moins volumiques, des exigences de précision moindres, des jeux de contraintes et de variables plus simples. A l'inverse, dès que l'on se rapproche de l'opérationnel, on sait bien que les problèmes deviennent vite combinatoires, et que les outils délivrés nécessitent un niveau de disponibilité très élevé qui va de pair avec leur implication dans les process de production. La complexité de ce genre de projet est aussi liée au niveau de pression qui est mis sur l'outil, son côté indispensable à la bonne marche de l'entreprise au quotidien et donc à sa fiabilité, et à son intégration nécessaire au système d'information.

Quel est le plus "beau" projet que vous ayez réalisé en RO ?

Tout dépend de ce que l'on met derrière l'adjectif "beau". Du point de vue de l'élégance de la solution technique et de la mise en œuvre d'une certaine sophistication des modèles et de l'algorithmique, je pense aux outils d'optimisation que nous avons développés pour la conception de l'offre de transport urbain : de la belle génération de colonnes avec des graphes sous-jacents et de la programmation dynamique. Le paradigme est, certes, connu depuis plusieurs décennies, mais il a fallu recourir à beaucoup de savoir-faire pour traduire toute la complexité du réglementaire réel en ressources dans les graphes : on résout des problèmes industriels qui ne sont pas "purs" et ça les rend d'autant plus difficiles. Dans ce cas, ce qui est "beau" également, c'est que c'est performant, que beaucoup de clients utilisent l'outil quotidiennement, qu'il leur permet d'être performants économiquement et socialement (nos outils construisent les horaires qui sont appliqués chaque jour pour plus de 5 000 bus/trams et 12 000 conducteurs). Enfin, c'est aussi un cas intéressant d'application de savoir-faire publiés par les meilleures équipes universitaires pour traiter certains aspects de performance (dégénérescence, stabilisation).

Du point de vue du ROI généré pour le client, je pense que le projet le plus emblématique est un modèle de construction de programme pour une compagnie aérienne (fixation des horaires des vols, affectation des types avion aux vols, construction des rotations, répartition de la flotte). Sa mise en œuvre avait permis une augmentation de 15% du revenu, ce qui se traduisait par un retour sur investissement en moins d'une journée d'exploitation !

Du point de vue de la généralité et de la récurrence des utilisations, je pense à notre produit de conception de réseau logistique, utilisé à maintes reprises pour optimiser les localisations de sites, les flux d'approvisionnement et de distribution, les plans directeurs de production, les zones de chalandise,... Dans l'industrie, la grande distribution, l'agro-alimentaire, l'énergie.

Inversement, auriez-vous le souvenir d'un échec, ou de difficultés, et quels retours d'expérience auriez-vous sur le sujet ?

J'ai le souvenir d'un projet qui n'a pu arriver à son terme, et qui nous a confortés dans notre position actuelle sur les exigences à apporter sur des points de gestion de projet (qui ne me semblent pas spécifiques du domaine de la RO d'ailleurs)

- évaluer a priori la faisabilité ou l'opportunité d'un dossier, savoir dire non si le sujet n'est pas "mûr" ;
- bien gérer la répartition des rôles dans l'équipe, éviter

les doublons, surtout si on travaille à plusieurs partenaires ;

- ne pas négliger le contractuel qui semble inutile quand tout se passe bien mais oh combien nécessaire en cas de désaccord avec le client ;
- ne pas s'engager forfaitairement sur un projet complet et volumineux incluant une part significative de R&D (50% par exemple) ;
- détecter les dérives (en temps passé) le plus tôt possible, ne pas faussement se rassurer en se disant qu'on arrivera toujours à rattraper, rechercher plutôt les failles dans l'évaluation initiale du projet ;
- en cas de difficulté majeure, être capable d'arrêter le projet, même si on a déjà beaucoup investi.

Quelle est votre "recette", ou la recette Eurodécision, pour réussir un projet de RO ?

Il y a un certain nombre de "fondamentaux" à respecter si l'on veut apporter un minimum de garanties à la bonne fin d'un projet d'aide à la décision :

Le contact avec l'utilisateur : nous nous assurons d'être toujours en lien direct, tout au long du projet (et même avant), avec les véritables utilisateurs qui connaissent le métier et qui seront directement impliqués dans les retombées du projet. Ils sont les mieux placés pour formuler les réelles exigences de l'entreprise, et pour juger des solutions que nous apportons.

Une démarche progressive : les projets que nous menons sont souvent innovants du point de vue de l'entreprise cliente. Il en découle souvent une difficulté pour le client à formuler ses besoins de façon exhaustive, soit par auto-censure, soit par méconnaissance de la capacité des approches RO à répondre à ses besoins. Pour certains projets, il peut y avoir aussi de l'incertitude de notre côté sur les limites de nos capacités de résolution si on complexifie le problème. Un autre aspect générant de l'incertitude est celui de la disponibilité et de la qualité des données. Pour toutes ces raisons, nous privilégions des approches progressives, décomposées en lots, incluant des phases de prototypage et d'audit, qui permettent de mieux contrôler les risques éventuels, et autorisons les exigences du client à évoluer dans certaines limites en cours de projet. Au minimum dans les lots de prototypage, nous imposons des approches de développement agile de type SCRUM.

Un socle générique si possible : sauf accord particulier avec le client et en-dehors des projets RDI, nous évitons de nous lancer dans des projets incluant une part trop importante de R&D ; appuyer une solution sur un socle générique (nos plates-formes verticales) contribue naturellement à sa sécurisation et son utilité dans le monde industriel.

Enfin un diagnostic initial sur la faisabilité du projet, l'acceptation du partenaire à entrer dans une démarche agile, la suffisance des moyens mis en œuvre est toujours nécessaire : il vaut mieux parfois renoncer à un projet que se lancer dans une aventure qui tourne mal pour des raisons d'incompréhension ou un manque de vision commune sur la démarche !

Votre vision de la RO

Quelles sont selon vous les principales évolutions dans la pratique de la RO depuis la fondation d'Eurodécision en 1987 ?

Vaste sujet!... Notre environnement technologique, et par conséquent notre travail n'ont plus grand-chose à voir avec ce que nous connaissions au début de l'aventure EURODECISION. Faut-il rappeler qu'en 1987, les "PC" existaient (assez confidentiellement) depuis 3-4 ans et qu'ils disposaient aux mieux d'un processeur 8086, d'un lecteur de disquette 360 Ko, d'un disque dur (pour les riches!) de 20 Mo, d'une RAM de 256 Ko, tout cela sous MSDOS? Pas de réseau, pas d'internet, bien sûr, ... Mais nous étions enthousiastes quand même! Le travail était plus artisanal (j'ai échappé de peu aux cartes perforées!), les quelques solveurs industriels ne tournaient que sur mainframes et étaient très coûteux. Nous nous risquions alors à développer nous-mêmes nos propres moteurs de calcul et renoncions à résoudre un problème MIP s'il comprenait plus de 50 variables entières... Les plates-formes dont nous disposions nous ouvraient déjà des horizons considérables, mais généraient pas mal de frustration aussi, car une partie importante de notre travail de développeurs d'algorithmes était monopolisée par la gestion de la pénurie (de mémoire, de CPU, ...).

Mais tout s'est accéléré très vite : avant la fin des années 80 commençaient à apparaître des versions PC des solveurs : CPLEX (déjà!), XPRESS-MP (aussi), OSL (devenu COIN-OR aujourd'hui). Au début des années 90 ont commencé à apparaître des "DOS-extenders" permettant d'adresser jusqu'à 4 Mo (je crois) de mémoire vive, et à travailler en mode protégé (plus besoin de rebooter en cas de segmentation fault!), c'est aussi le moment où nous avons basculé dans le monde des stations UNIX, beaucoup plus puissantes à l'époque, et qu'on pouvait mettre facilement en réseau. Internet a bien sûr révolutionné nos méthodes de travail dès le milieu des années 90 en nous donnant dans un premier temps un accès facile à de l'information scientifique et économique, en accélérant la communication avec nos partenaires et nos clients. Mais aussi, internet s'est rapidement avéré être, dès le début des années 2000, un véritable système d'informations mondial offrant aux entreprises la possibilité d'externaliser tout ou partie de leurs ressources de stockage et de calcul, et des outils de captage d'information à grande échelle. Parallèlement, les processeurs ont continué leur montée en puissance, et les solveurs également, les machines parallèles sont devenues la norme sur nos bureaux et les architectures massivement parallèles dans nos data centers... Du point de vue génie logiciel, les couches d'abstraction se sont aussi considérablement développées et le chemin à parcourir du modèle à la solution opérationnelle réduit en conséquence.

Si l'on prend juste l'exemple de la Programmation Mathématique (nos métiers abordent bien d'autres approches), alors qu'en 1987 on remplissait nos matrices de PL élément par élément ou via des fichiers MPS, qu'on se limitait à des problèmes continus avec des solveurs qui tournaient en local sur des machines limitées, aujourd'hui on utilise des environnements de modélisation évolués qui peuvent faire tourner des calculs sur des problèmes de grande taille "dans le cloud". Si l'on en croit R. Bixby (l'inventeur de CPLEX), entre 1988 et 2004 les progrès combinés des algorithmes et des machines ont permis de multiplier notre puissance de calcul en PL par un facteur $5.3 \cdot 10^6$! Pour la résolution de MIP ce facteur est de l'ordre de $1.7 \cdot 10^8$... Si on complète ce panorama par l'usage de techniques de décomposition type génération de colonnes, on mesure combien nos horizons se sont élargis!

Côté données (dont les chercheurs opérationnels sont grands consommateurs!), il faut reconnaître que l'accès à l'information numérique en grand volume nous fait gagner un temps considérable, même si la problématique de nettoyage et de validation reste d'actualité.

Une constante reste l'effort à fournir pour mettre ces outils puissants à la portée des utilisateurs : faire de la RO c'est aussi faire du beau logiciel interactif, avec une haute exigence fonctionnelle et ergonomique, c'est donner la possibilité à l'utilisateur d'employer le modèle comme un simple assistant, en gardant la possibilité de construire lui-même ses solutions en tout ou partie. Et aujourd'hui, cela se fait sur le web.

En tant que dirigeant d'une entreprise de RO et membre actif de la ROADEF, quel rôle pensez-vous que la ROADEF doit/peut jouer dans la pratique de la RO en entreprise en France ?

La ROADEF est d'abord un lieu d'échange indispensable pour la communauté qui se nourrit de sa diversité. Je pense en particulier à la rencontre entre les mondes académique et industriel. Il est bon que nous, industriels, soyons tirés vers le haut par les équipes de recherche qui explorent les approches que nous utiliserons demain, mais aussi que nous, industriels, donnions à voir ce qui fait la réalité des problématiques "impures" que nous abordons (cela peut donner des idées).

Je crois également que notre association a un devoir de dissémination, de sensibilisation à l'aide à la décision du monde industriel encore sous-équipé et sous-informé dans bien des cas. Notre communauté, à l'échelle de la France, me semble encore bien petite, surtout si on considère le nombre d'industriels adhérents! Au-delà d'évènements comme le congrès qui touchent essentiellement les "convaincus de la RO", il faut plus investir sur notre vitrine. Des évènements comme le Challenge ou "les Pros de la RO" vont dans le bon sens, mais il faut que nous soyons plus visibles encore...

Quels conseils donneriez-vous à un jeune qui voudrait faire de la RO son métier (dans le secteur public ou privé) ?

Pour commencer, je dirais que le premier conseil qu'on peut donner à un jeune qui se forme pour être ingénieur (quelle que soit sa spécialisation) c'est de faire de la RO : cela doit faire partie du bagage indispensable de tout scientifique ou technicien, tout simplement parce que c'est à la fois utile et amusant!

Pourquoi indispensable? Parce qu'il y a deux voies (complémentaires) pour améliorer la performance d'une entreprise : la première c'est l'investissement dans des équipements plus efficaces (plus rapides, avec de meilleures capacités, de meilleurs rendements etc.); la deuxième, c'est l'amélioration de l'organisation, des process, à niveau d'équipement donné (que je considère comme la voie de la RO). L'idéal est bien sûr de combiner les deux voies, mais ce qui est remarquable dans une approche "ROAD" (je ne traduis pas, il manque juste le "EF"), c'est qu'elle est peu coûteuse et peut apporter des résultats concrets dans un délai extrêmement court. Avouez que ce serait dommage de ne pas mettre systématiquement cet outil dans le couteau suisse de l'ingénieur!

Ensuite, pour celle ou celui qui voudrait se spécialiser dans le domaine, j'encouragerais le développement de trois qualités : curiosité, passion, modestie.

Curiosité : la RO est une discipline transverse, pertinente dans quasiment tous les secteurs d'activités et tous les domaines de l'organisation. Cela laisse un champ d'exploration extraordinaire pour qui se donne le mal d'observer ce qui fait la réalité quotidienne des processus métier de l'entreprise, et de réfléchir à la modélisation de ces processus dans l'objectif de les représenter, les comprendre, les améliorer, et aussi de communiquer sur leur fonctionnement.

Passion : c'est assez banal, je l'avoue, car tout le mal que je souhaite à chacun est d'être passionné par ce qu'il fait... Mais cela va de pair avec "patience", et je dois reconnaître qu'il en faut une bonne dose car notre métier nous fait régulièrement passer par des étapes telles que "collecte du besoin", "modélisation", "restitution", "correction de la perception du besoin", "prototype", "tests", "tests", "tests"...

Modestie : elle découle naturellement des deux exigences précédentes car un bon chercheur opérationnel se trouve finalement souvent en position d'apprenti face aux experts métier pour qui il travaille ; et face à la complexité du monde réel, il faut reconnaître que modéliser et résoudre représentent parfois des défis ambitieux !

Comment voyez-vous la RO dans 20 ans ?

Quand je vois que j'étais loin d'imaginer il y a 20 ans ce que serait notre métier aujourd'hui, je me dis que l'exercice du prévisionniste long terme est bien périlleux ! Sans regarder si loin, je me dis qu'il y a peut-être actuellement des amorces d'évolution qui préfigurent le devenir des applications de la RO et de l'AD. Alors que ce sont encore essentiellement les grands groupes qui sont les utilisateurs principaux de la RO industrielle, je commence à croire à la diffusion de ces approches dans les entreprises plus petites, voire même dans nos foyers sur des sujets ayant trait à la santé, la domotique, la consommation d'énergie. C'est bien sûr internet et la mutualisation des ressources qui permet(tra) ce genre de diffusion, au travers d'applications SaaS peut coûteuses ou même gratuites, grâce aussi à la collecte et au partage (consenti...) des données, aux objets connectés qui, en plus, pourraient bien devenir des objets intelligents.

Des plans sur la comète

(optimisation des opérations scientifiques de l'atterrisseur Philae)

par **Christian Artigues, Emmanuel Hébrard, Pierre Lopez et Gilles Simonin**

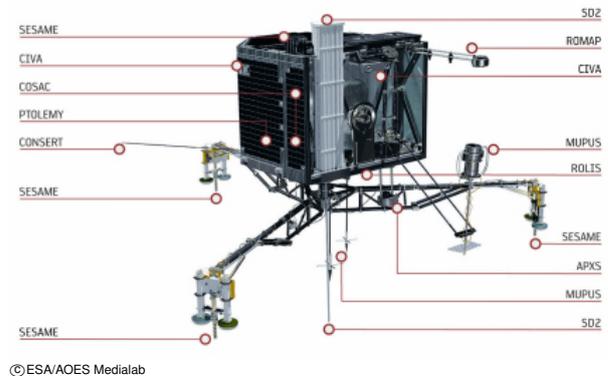
1 La RO dans le Robot

Le 13 juin 2015, le robot-laboratoire Philae s'est réveillé sur la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko et devrait être ainsi en mesure de reprendre une série d'expériences qu'il avait interrompues sept mois auparavant pour entrer dans une phase d'hibernation consécutive à l'épuisement de sa

2. <https://www.laas.fr/public/fr/roc/>

3. plus 6 Mo de backup

batterie principale. Le module abrite dix instruments, illustrés ci-dessous, permettant de réaliser les expériences élaborées par autant d'équipes européennes. Ces expériences, qu'il s'agisse de prises de vue (CIVA, ROLIS), d'analyse d'échantillons (SD2, COSAC, PTOLEMY) ou encore d'expériences de spectrométrie (APXS), correspondent à une série d'activités sous contraintes de ressources et dont l'ordonnancement est critique au succès de la mission.



© ESA/AOES Medialab

Les plans exécutés par Philae sont calculés par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), à Toulouse, à l'aide d'outils et d'algorithmes issus de la recherche opérationnelle, et en particulier de la programmation par contraintes conçus par l'équipe Recherche Opérationnelle, Optimisation Combinatoire et Contraintes (ROC) du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) du CNRS².

Les ressources disponibles sont extrêmement limitées. La principale source d'énergie électrique, un accumulateur au lithium, a fourni un total d'environ 1000 watts-heures, soit de quoi alimenter une ampoule basse consommation pendant la durée de la phase principale. Pire encore, la mémoire informatique disponible pour stocker toutes les données collectées par Philae avant de les transférer d'abord à Rosetta, puis à une station sur Terre, est de 6 mégaoctets utilisables³, soit l'équivalent de quatre disquettes 3 pouces et demi ! Enfin, ces transferts ne peuvent avoir lieu que lorsque l'orbiteur, Rosetta, est visible au dessus de l'horizon de la comète. Cette fenêtre de visibilité, qui aurait dû être confortable en théorie, fut réduite dans les faits, en raison de l'acométissage mouvementé de Philae.

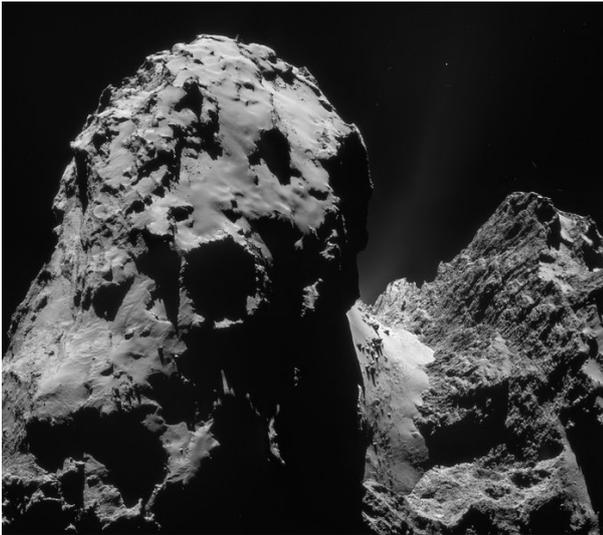
La contribution du LAAS porte en particulier sur la prise en compte de ces transferts de données au sein du problème plus classique d'ordonnancement sous contraintes de ressources que constitue le calcul de plans d'expériences pour Philae. Ces transferts sont critiques, d'une part parce que la ressource est très contrainte, et d'autre part parce que leur modélisation a nécessité de sortir du cadre standard de l'ordonnancement sous contraintes de ressources.

2 Rosetta : un voyage spatial historique... et autres problématiques de planification

En 1993, l'Agence Spatiale Européenne (ESA) approuva un des projets les plus ambitieux jamais réalisés dans l'histoire spatiale : rejoindre une comète et y faire poser un module robotisé à sa surface. Le projet comprenait différents centres scientifiques répartis sur plus de 14 pays européens,

avec la participation du Canada et des Etats-Unis pour le développement des différents instruments nécessaires à une étude approfondie de la comète.

L'intérêt porté aux comètes tient au fait qu'elles sont des objets stellaires primitifs du système solaire et pourraient ainsi être à l'origine de la présence d'eau sur Terre et peut-être même au développement de la vie. Nous n'avons qu'une connaissance infime de la constitution et la formation de ces objets énigmatiques et, par une étude exhaustive in situ, la mission Rosetta a pour but de percer les secrets qu'ils recèlent. Les données recueillies nous permettront d'en apprendre davantage sur notre passé et nos origines.



© ESA/AOES Medialab

Prise de vue de la caméra de navigation de Rosetta 10/12/2014

La sonde spatiale Rosetta fut ainsi lancée en 2004 par Ariane 5 et débuta un long voyage sur plus de six milliards de kilomètres pour finalement atteindre la comète Churyumov-Gerasimenko en août 2014. Ce long périple nécessita une trajectoire complexe comprenant quatre accélérations gravitationnelles (trois autour de la Terre et une autour de Mars) afin de rejoindre au final la comète et d'entrer dans son orbite. Durant son voyage, la sonde passa près de deux astéroïdes (Steins et Lutetia), permettant de collecter des données et images inédites. Une fois la sonde arrivée au niveau de la comète, une première analyse fut réalisée grâce aux instruments embarqués sur Rosetta afin d'étudier au mieux les différents sites possibles d'atterrissage pour l'atterrisseur Philae. Les chercheurs de la NASA ont contribué de leur côté à la planification des campagnes d'expériences effectuées par la sonde Rosetta elle-même au moyen de l'outil Rosetta Science Ground Segment Scheduling Component (RSSC) basé sur le module d'ordonnancement à base de priorités ASPEN utilisé au préalable dans d'autres missions [1].

Le 12 novembre 2014, la sonde Rosetta libéra le module robotisé Philae pour un atterrissage historique à la surface de la comète, alors distante de 650 millions de kilomètres de la Terre et naviguant à une vitesse de 135 000 km/h, pour en étudier le noyau. Cette phase d'étude au sol de la comète comporte de nombreuses expérimentations, dans un environnement contraint en énergie électrique, en mémoire de stockage et capacité de transfert de données. Leur ordonnancement, à l'aide d'outils algorithmiques déve-

loppés au CNES et en collaboration avec le LAAS au sein du logiciel MOST (Mission Operation Scheduling Tool) distinct de RSSC, fut une des clés de la réussite de la mission. Mais l'énorme distance à la terre du théâtre de ces opérations empêche toute velléité de remise à jour réactive des plans d'expériences à réaliser et de leur ordonnancement qui nécessiterait des allers-retours rapides d'information physiquement impossibles. Des plans de plusieurs heures sont donc conçus et ordonnancés au sol via MOST puis transmis à l'orbiteur qui les exécute plus ou moins aveuglément. La mise au point de l'ordonnancement des plans d'expérience est donc un facteur particulièrement critique.

3 La mission périlleuse de Philae

La mission scientifique de Rosetta/Philae a pour but d'observer la comète depuis son orbite et d'analyser de manière plus précise sa constitution grâce à l'atterrisseur posé sur son noyau. L'exploration comporte trois phases : la SDL (*Separation-Descent-Landing*), qui dura environ huit heures, au cours desquelles l'atterrisseur Philae réalisa les premières expériences pendant la descente vers la comète ; la FSS (*First Science Sequence*), d'une durée de trois jours au sol de la comète, est la phase principale d'étude du noyau cométaire ; enfin la LTS (*Long Term Science*) dont la vocation est l'observation du comportement de la comète à l'approche du Soleil et qui se prolongera tant que la sonde restera fonctionnelle. Pour chacune de ces trois phases, l'ordonnancement des activités à réaliser pour mener à bien chaque expérience est transmis au robot à partir des plans calculés par le logiciel d'ordonnancement MOST.



© ESA/AOES Medialab

Vue d'artiste de la phase "Separation-Descent-Landing"

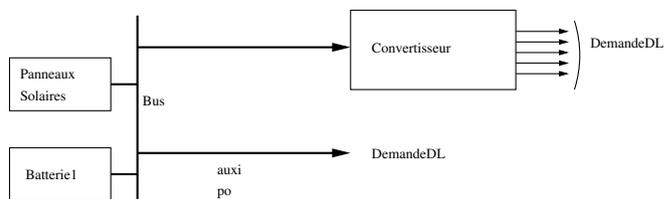
La phase FSS est la plus critique car l'exécution de certaines expériences coûteuses en énergie nécessite la puissance fournie par la batterie principale et peut entraîner une trop grande sollicitation de celle-ci. Durant la phase FSS, les expérimentations scientifiques sur le sol de la comète génèrent de multiples activités dont l'ordonnancement est un véritable enjeu au regard des contraintes physiques et des ressources matérielles. Les principales contraintes proviennent de différentes limitations portant sur l'énergie fournie par les batteries, la température ambiante dans un compartiment, ou encore les ressources mémoire allouées aux expériences et à l'atterrisseur. Les contraintes temporelles tiennent aussi une grande importance, liées à la fois à des relations de précédence entre activités, aux fenêtres de visibilité entre l'atterrisseur et l'orbiteur pour la transmission de données et au temps nécessaire à l'acheminement de ces

données de l'orbiteur à la Terre (approximativement 25 minutes). La qualité de l'ordonnancement proposé conditionne la longévité des batteries, et est donc la clé de la réussite de la mission. Le calcul de tels plans peut se concevoir comme la résolution d'un problème d'optimisation combinatoire, en l'occurrence un problème d'ordonnancement de tâches sous contraintes de ressources. Notons qu'en raison de faibles capacités de calcul à bord, les plans d'expériences sont élaborés au sol, puis transmis à la sonde.

Comme on le sait désormais, l'atterrissage de Philae a été mouvementé. En effet, les systèmes permettant de plaquer et ancrer l'atterrisseur à la surface où règne une très faible gravité n'ont pas fonctionné et Philae a ainsi rebondi plusieurs fois avant de se poser dans une position inclinée et dans un endroit peu éclairé. Malgré ces désagréments, Philae est néanmoins parvenu à réaliser la majorité des expériences qui lui étaient assignées. De plus, on sait donc depuis le 13 juin que Philae a pu se réveiller et devrait être ainsi en mesure de reprendre une série d'expériences alimentées en énergie par ses panneaux solaires.

4 Planification des expériences de Philae : ordonnancement sous contraintes de ressources

Le problème d'ordonnancement des expériences de Philae peut être défini formellement comme un problème d'ordonnancement multi-projet sous contraintes de ressources (RCMPSP⁴) avec bien sûr des spécificités et des contraintes supplémentaires. Les expériences définissent les activités du projet avec une structuration hiérarchique en deux niveaux, une expérience correspondant à un projet étant décomposée en une série de tâches à réaliser soumises à des contraintes de précédence. Une tâche (par exemple un perçage ou une prise de vue) a une durée supposée connue et a également deux caractéristiques fondamentales : son taux de production de données et sa demande en puissance électrique. Ces deux caractéristiques définissent la demande d'utilisation par les tâches des deux types de ressources critiques principales au sein de Philae : la mémoire pour l'une et la puissance instantanée disponible pour l'autre. Chaque expérience a sa propre mémoire et il existe également une mémoire centrale, appelée mémoire de masse. Toutes ces mémoires ont une capacité limitée. Une fois une tâche démarrée, celle-ci produit des données selon son taux de transfert vers les mémoires et un processus de transfert des données produites vers la sonde Rosetta est mis en oeuvre. La gestion des contraintes liées à ce transfert est critique car lorsqu'une mémoire est pleine, les données produites écrasent les données déjà stockées. Leur prise en compte efficace constituent l'essentiel de notre contribution et seront détaillées dans la partie 5. En ce qui concerne la demande en énergie, la puissance disponible à un instant donné pour l'ensemble des tâches est triplement limitée, suivant une organisation hiérarchique du réseau de distribution d'électricité. Il existe une limitation globale qui concerne l'ensemble des expériences mais il faut se conformer à une distribution de l'électricité par un ensemble de convertisseurs sur différentes lignes.



Chaque expérience est connectée à une ligne particulière d'un convertisseur donné. Une limitation en puissance est définie pour chaque ligne et chaque convertisseur. Ces limitations se modélisent aisément par les contraintes de ressources cumulatives "standard" dans le RCMPSP, en définissant une ressource cumulative globale, une par convertisseur et une par ligne. Il existe également des contraintes disjonctives représentant des incompatibilités technologiques entre expériences. Enfin l'objectif majeur de la mission étant de réaliser le plus grand nombre d'expériences avant la décharge totale de la batterie principale, une fonction objectif vise à positionner les tâches de façon à suivre une courbe de charge idéale de cette batterie. En résumé, le problème est un RCMPSP relativement standard avec une fonction objectif de suivi de charge idéale mais comprenant des contraintes de transfert de données critiques et spécifiques.

Les ingénieurs du Centre de navigation et d'opérations scientifiques (SONC) du CNES chargés de la planification des activités pour la mission ont conçu l'outil MOST pour la génération de ces plans. Ce logiciel a été développé par la société Capgemini sur la base de l'utilisation de la librairie IBM ILOG Scheduler. Il s'inscrit ainsi dans le paradigme de la Programmation Par Contraintes, en modélisant les décisions pour produire un plan admissible comme un problème de satisfaction de contraintes (CSP).



Capture d'écran de l'interface MOST

Des solutions sont générées en utilisant la méthode classique de recherche en profondeur. Une fois ces solutions validées par le centre de commandes au CNES, ces plans sont envoyés au centre de mission localisé en Allemagne où ils sont encodés dans un format spécifique dédié au système embarqué dans Rosetta et Philae (CDMS : Command and Data Management System). Une fois les informations reçues par le CDMS, les plans calculés peuvent être réalisés tant qu'il n'y a pas d'anomalie. Avant l'acométissage, de nombreux scénarios avaient déjà été générés et validés au centre de commandes. Toutefois, en raison d'incertitudes liées à la méconnaissance a priori de certaines données, en particulier les périodes exactes de visibilité de l'orbiteur, le plan d'opérations scientifiques définitif devait pouvoir être recalculé au dernier moment en un temps extrêmement court. La recherche d'une amélioration de performances pour la conception de tels plans était donc déterminante pour une réussite totale du projet.

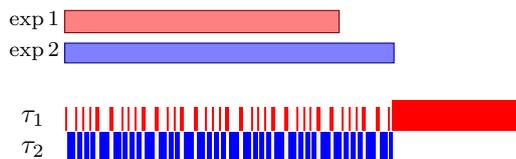
4. Resource-constrained multi-project scheduling problem

5 Une contrainte globale pour le transfert de données

La génération de plans nécessite de résoudre le problème central de la gestion du transfert de données, entre instruments et calculateur de bord de l'atterrisseur, puis entre l'atterrisseur et l'orbiteur. Les données produites par les instruments de mesure sont transférées suivant des règles fixes appliquées par le calculateur de bord. Il est possible, lorsque trop de données sont produites, que les mémoires des instruments soient saturées, entraînant des pertes. Il est donc crucial de modéliser aussi précisément que possible ces règles qui régissent l'interaction entre les décisions d'ordonnancement et les transferts de données de façon à ce que ceux-ci soient réalisés sans perte.

Dès le début de notre participation au projet en avril 2011, nous avons identifié que la modélisation et la gestion des transferts de données n'étaient pas adaptées au problème considéré. La solution initialement adoptée par le CNES consistait à utiliser les objets `IloReservoir` pour représenter les mémoires comme des ressources pouvant soit être "remplies" par les activités produisant des données, soit être "vidées" par les activités de transfert. Le problème de cette approche tient au fait que les activités de transfert ne sont ni connues à l'avance, ni contrôlables puisque entièrement dépendantes du calculateur de bord. Ce premier modèle nécessite donc de faire des hypothèses simplificatrices sur ces activités, résultant en une modélisation imprécise et surtout inefficace.

Le calculateur de bord utilise une politique relativement simple pour effectuer les transferts⁵ basée sur un ordre de priorité statique sur les expériences. Lors du transfert de chaque paquet de données (512 octets), l'instrument le plus prioritaire parmi ceux dont la mémoire contient au moins un paquet est choisi, et un paquet est transféré vers la mémoire de masse. Cette méthode peut potentiellement entraîner des oscillations très rapides entre les sources des transferts, lorsque par exemple une expérience est prioritaire, mais produit très peu. Ce comportement est illustré dans la figure ci-dessous.



L'expérience *exp 2* a priorité sur l'expérience *exp 1*, mais produit des données à un taux moins élevé que le taux de transfert. De ce fait, la mémoire de l'instrument *exp 2* se vide nécessairement. Lorsque c'est le cas, le calculateur de bord commande le transfert de données depuis l'instrument *exp 1*, mais seulement le temps pour l'instrument *exp 2* de produire au moins un paquet de données. La source du transfert courant va donc changer très rapidement tout au long des expériences, et parce que ces changements n'interviennent qu'entre le transfert d'un paquet entier, ils peuvent mettre du temps à se stabiliser, même pour seulement deux expériences, comme illustré ci-dessus.

Nous avons développé un modèle continu du fonctionnement du calculateur de bord où nous approximations ces oscillations par un partage de bande passante. L'occupation

5. Nous omettons volontairement certains détails.

de la bande passante "virtuelle" est calculée en fonction de la priorité des expériences, des taux de productions et des taux de transferts. Par exemple, les transferts décrits plus haut sont représentés de la manière suivante dans le modèle approché :



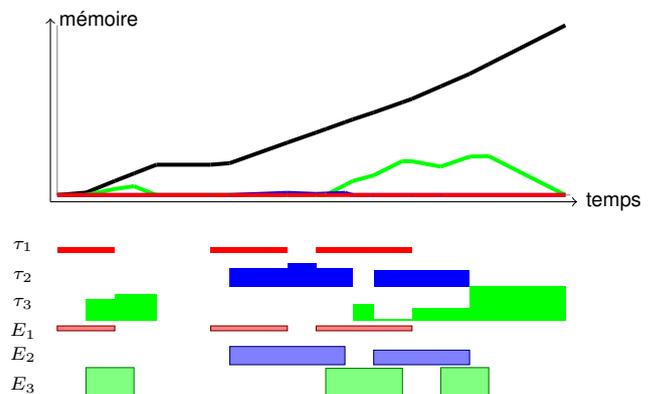
L'erreur d'approximation de la valeur d'occupation de la mémoire à tout instant est bornée par $1 + \alpha$ paquets, où α désigne le rapport maximal entre les taux de transferts des diverses expériences. Ce taux de transfert varie très légèrement en fonction de la priorité de l'expérience ainsi que du nombre total d'expériences actives, mais ne dépasse pas une valeur de 2 en pratique. La précision de ce modèle est donc de l'ordre de 3 paquets (1536 octets) dans le pire des cas.

En nous appuyant sur ce modèle, et afin de définir la relation entre variables de début des tâches et l'allocation des priorités aux expériences qui interdit la perte de données, nous avons introduit [3] la contrainte globale suivante :

`DataTransfer([priorités], [début_tâches])`

En effet, les seules variables de décision lors de l'étape d'ordonnancement sont les dates de début des tâches. L'allocation des priorités aux instruments peut être vue comme un jeu de paramètres car elles sont fixées hors ligne. Cette contrainte est donc un prédicat sur ces variables, retournant `vrai` si les règles du calculateur de bord permettent un transfert sans perte, `faux` sinon. Ce modèle par "bande passante" nous permet de raisonner de manière très efficace sur le temps de transfert et sur l'occupation effective des mémoires lors du déroulement du plan. En particulier, nous avons proposé un algorithme de balayage, qui vérifie et calcule la faisabilité des transferts résultant de l'ordonnement de n activités en temps $O(n \log n)$. Nous avons en outre proposé deux algorithmes de filtrage des valeurs des variables de décision (dates de début des tâches) permettant de chercher efficacement des solutions (ordonnements) qui garantissent que toutes les mesures effectuées parviendront in fine aux scientifiques.

La figure ci-dessous illustre le transfert de données produites par trois expériences (E_1 en rouge, E_2 en bleu et E_3 en vert).



Les activités de ces expériences sont représentés par des rectangles dont la largeur indique la durée et la hauteur

correspond à la quantité de données produites. Les transferts, respectivement τ_1 , τ_2 et τ_3 , sont représentés avec les mêmes conventions. Finalement, le graphe du haut montre l'évolution de l'occupation de la mémoire de masse (en noir) ainsi que de la mémoire de chaque expérience (en couleur) en fonction du temps résultant de cet ordonnancement.

6 Conclusion

Notre approche a considérablement amélioré les résultats obtenus par la version précédente de MOST, que ce soit sur la qualité des solutions produites que sur le temps machine pour les produire. Pour les scénarios les plus conséquents de plusieurs centaines de tâches à ordonnancer sur 5 jours, dont certains n'étaient pas résolus par le modèle précédent après plus d'une heure de calcul, nous avons pu produire ces solutions en quelques secondes. Les algorithmes proposés ont ainsi permis aux ingénieurs du CNES travaillant sur la planification des activités, de produire plus rapidement des plans réalisables, voire optimaux, et respectant au mieux les attentes des scientifiques impliqués dans les expériences. Il est difficile de le quantifier, mais nous pouvons également espérer que cette amélioration des algorithmes d'ordonnancement des activités a permis de maximiser les résultats d'expérience de Philae dans le contexte dégradé de son atterrissage et de sa position inconfortable à la surface de la comète.

Références

- [1] S. Chien, G. Rabideau, D. Tran, F. Nespoli, D. Frew, H. Metselaar, F. Nespoli, D. Frew, H. Metselaar, M. Fernandez, M. Kueppers, L. O'Rourke. Scheduling science campaigns for the Rosetta mission: A preliminary report. In Proc. of the Int. Workshop on Planning and Scheduling for Space (IWSPSS). Moffett Field, CA, March 2013
- [2] G. Simonin, C. Artigues, E. Hébrard, P. Lopez. Analysis and evolutions of the scheduling tool for the scientific activities of the Philae lander. Rapport final, Convention CNES 127898, 2013
- [3] G. Simonin, C. Artigues, E. Hébrard, P. Lopez. Scheduling scientific experiments on the Rosetta/Philae Mission. LNCS 7514, pp.23-37, Springer Verlag. M. Milano (Ed.), 18th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP'12), Québec, QC (Canada), October 8-12, 2012. Best application paper award
- [4] G. Simonin, C. Artigues, E. Hébrard, P. Lopez. Scheduling scientific experiments for comet exploration. Constraints 20(1), 77-99, 2015

An equation-free introduction to derivative-free optimization

par **Giacomo Nannicini**

Many optimization problems that occur in several areas of engineering cannot be formulated explicitly following the mathematical programming paradigm. For example, this is the case when the quality or feasibility of a solution can only be evaluated through a computer simulation or a field

test. Typically, optimization algorithms require knowledge of at least first-order information (i.e. gradients). In some cases gradients can be estimated by partial differences, in other cases the estimation is impractical because each function evaluation is too expensive, e.g. a computer simulation that requires considerable CPU time. We focus on the latter case. Thus, we need a class of methods that relies on zero-order information only (i.e. function values). Such methods are called *derivative-free* or *black-box*, because the functions in the problem formulation are only available as a black box that transforms input arguments into output values, with no knowledge of the analytical expression. The main metric according to which these methods are evaluated is the number of function evaluations to find an optimum. The aim of this paper is to provide an accessible, equation-free introduction to derivative-free optimization, surveying some of the main ideas used throughout the years and giving pointers to existing free software.

Formally, the problem that we want to solve is $\min_{x \in B} f(x)$, where $B \subseteq \mathbb{R}^n$ is an n -dimensional box. The assumption of a box-constrained problem is typical in the derivative-free community, because dealing with black-box constraints is very difficult. If the problem has constraints that are known in analytical form, they can sometimes be handled without a significant increase in solution difficulty, e.g. if the constraints are linear, but in general derivative-box optimization remains mostly concerned with unconstrained problems (existing constraints are treated as soft constraints, i.e. their violation is penalized in the objective function). A similar argument holds for integrality requirements: some methods can handle them effectively, but typically the problem is stated as continuous.

1 Taxonomy of solution methods

Several algorithms have been proposed for the solution of black-box optimization problems, using a variety of approaches. While some older methods have been superseded, there is no "best" method, but rather a large set of methodologies, each of which is effective on problems with certain characteristics. Thus, the choice of the methodology should depend on the problem at hand; more specifically, important factors are the size of the search space (number of decision variables, bounded/unbounded, etc.), the budget of function evaluations allowed, the convexity and smoothness of the objective function.

Available methodologies can be characterized according to the following three criteria.

- *Local* methods are concerned with finding a local optimum. *Global* methods aim at determining a global optimum.
- *Direct search* methods involve the sequential examination of trial points as determined by a certain strategy that does not rely on approximating the gradient or constructing a model of the unknown objective function f . *Model based* methods build a (parametric) model of f , and determine the sequence of trial points based on this model.
- *Deterministic* methods do not include randomized decisions. *Stochastic* methods do.

While the criteria are presented as dichotomies, in reality many existing methods incorporate elements from seemingly opposite categories.

In the early days, convergence proofs for derivative-free optimization methodologies were rarely given (if at all), but such proofs are much more common now and almost required to publish in an optimization journal. One may ask how it is possible to show convergence to a global optimum for a problem where the objective function is unknown. Convergence proofs for stochastic methods normally rely on showing that every point in the space can be sampled with positive probability through the course of the algorithm, and therefore it will eventually be selected. For deterministic methods, convergence is typically achieved by showing that the sequence of points generated by the algorithm is dense over the feasible region B . This implies that a point within arbitrary ϵ from the global optimum is eventually explored. Even if such convergence proofs are important from a theoretical point of view, they do not say much about the practical performance of the methods, and in fact derivative-free methods often perform much better in practice than the theory suggests.

We now present some of the most well known approaches; the list below is far from being exhaustive. We will not discuss general-purpose heuristics such as genetic algorithms; unsurprisingly, they have been applied to this of problem, but they are not our focus.

1.1 Direct search methods

The first documented application of a direct search method appears to date back to the 50s [8], when Enrico Fermi and Nicholas Metropolis attempted to determine which values of some parameters (phase shifts) best fit experimental data using the *compass search* algorithm: test trial points in all the coordinate directions using a fixed stepsize; if a better point is found, set it as the next iterate; otherwise, halve the stepsize. Even if convergence proofs were not available for a long time, direct search methods were very popular in engineering due to their simplicity and the fact that they did not require gradients, whose computation was often a source of error [9, p. 297]. The term “direct search” was introduced in [13].

Nelder-Mead algorithm. The Nelder-Mead simplex algorithm [21] is one of the very first methodologies proposed for derivative-free optimization. It is a deterministic local method. The algorithm keeps a simplex of points, and at every iteration it tries to replace the worst corner in terms of objective function value with a new trial point obtained via geometric transformations of the simplex. While this method is similar to the class of Generating Set Search methods (discussed below), there are important differences in that the Nelder-Mead algorithm explores a single direction, and tries to improve the worst vertex of the simplex, rather than the best. This algorithm may converge to a nonstationary point even for convex functions [19].

Generating Set Search (GSS). The class of GSS methods was introduced in [18] and encompasses several well-known algorithms, such as generalized pattern search methods [13], multidirectional search [29, 30], Mesh-adaptive direct search (MADS) [2]. In general, a GSS method is a deterministic local method, but variations exist. The idea is to have, at every iteration, a set $\mathcal{D} := \mathcal{G} \cup \mathcal{H}$ of search directions, where \mathcal{G} spans the space \mathbb{R}^n and has a bounded

below (i.e. strictly positive) cosine measure, which is the minimum angle that any vector in the space makes with the vector in \mathcal{G} that is best aligned with it (formally, the cosine measure of \mathcal{G} is $\min_{v \in \mathbb{R}^n} \max_{d \in \mathcal{G}} v^T d / \|v\| \|d\|$). The characteristics of \mathcal{G} ensure that there is a direction in \mathcal{G} that is “sufficiently well aligned” with the steepest descent direction of the objective function. Convergence results are based on \mathcal{G} , while \mathcal{H} is the set of heuristic directions and allows for better practical performance, but could be empty in theory. At every iteration, we evaluate some trial points, computed from the current iterate x_k by moving along each direction in \mathcal{D} by a given steplength. If a sufficient decrease of the objective function value is achieved at one of the trial points, this new point is accepted as the next iterate, and the steplength is possibly increased; otherwise, the steplength is reduced. It is shown in [18] that a GSS algorithm converges to a stationary point under suitable conditions.

Dividing Rectangles (DIRECT). The DIRECT algorithm [16] is a deterministic global method that assumes a bounded domain and Lipschitz continuity of the unknown functions. The algorithm iteratively subdivides the domain in hyperrectangles, exploring all those that could potentially contain the optimal solution. To determine if a hyperrectangle could contain the optimum, all the possible Lipschitz constants are considered. DIRECT converges to the global optimum if the unknown function is sufficiently smooth. Subsequent literature on DIRECT focuses on performance improvements of various type, see e.g. [3].

1.2 Model based methods

The introduction of surrogate models for derivative-free optimization is due to Winfield in the late 60s [33], with the description a trust region algorithm (see below). The interest in methodologies that explicitly build a model of the objective function was renewed in the 90s, which is when most of the methods described in this section were conceived.

Trust-region methods. The trust-region method is a deterministic local method based on the idea of building a smooth local model of the objective function, presumed to be valid within a certain region (the “trust region”) around the current iterate. The next iterate is determined based on this model, that can be easily optimized. The most commonly used models are linear [22] and quadratic [4], but other models have been used as well (e.g. [31]). Under suitable assumptions, trust region methods converge to a stationary point [6, 32].

Kriging methods and Efficient Global Optimization (EGO). The term Kriging refers to an interpolation method for which values are obtained from a Gaussian process governed by given covariances. In derivative-free optimization, this means that a predictive model for the objective function is fit to the data using a linear combination of Gaussians, each one centered at one of the trial points (this model is known as DACE). Covariances are determined based on distances. EGO [17] is probably the most well-known derivative-free optimization method that uses a Kriging model. It is a deterministic global method that fits a DACE model and selects the next iterate by maximizing the expected improvement. An attractive feature of using a DACE model is that

model uncertainty at a given point in the domain can be estimated using the variance of the corresponding predictor. Global convergence can be attained under reasonable assumptions.

Radial Basis Function (RBF) method. A radial basis function is a function whose value at a point depends only on the distance from a fixed point (the center of the radial basis function). The idea of using this type of functions for derivative-free optimization dates back to [23]; the first fully developed method is described in [10]. RBF methods build a model for the unknown objective function as a linear combination of radial basis functions, each one centered at one of the trial points. The original method of [10] determines the next iterate by choosing a target objective function value, and identifying which point in the domain minimizes a measure of “bumpiness” of the radial basis function model obtained if an interpolation point were added there. The method is convergent in the limit if f is smooth and the target function values are chosen appropriately, see [10]. The practical performance of the algorithm was improved in subsequent papers, e.g. [24, 12, 11]. The RBF method of [10] is a deterministic global method. However, stochastic versions of the RBF methodology exist, such as [27, 25].

2 Software

In this section we give some pointers to existing software that is free for (at least) academic use. To researchers that are interested in benchmarking their algorithm with existing methodologies, we strongly recommend reading [20]. [28] gives a comprehensive review and computational evaluation of a large number of derivative-free algorithms (though not all the ones we mentioned in the previous section) and should be the starting point for practitioners who want to take an informed decision on which algorithm to use.

Multilevel Coordinate Search (MCS). MCS is a variant of the DIRECT algorithm that retains the global convergence properties. The algorithm is described in [14]. An implementation in Matlab is available at <http://www.mat.univie.ac.at/neum/software/mcs/>. It should be noted that the algorithm can only handle box-constrained problems. MCS is perhaps the best performing free solver on average, based on the results of [28] (the two solvers that typically perform better, MULTIMIN and GLCCLUSTER, are part of the commercial Matlab toolbox TOMLAB).

SNOBFIT. SNOBFIT implements the Branch-and-Fit algorithm of [15]. The algorithm is related to DIRECT in that it subdivides the domain into hyperrectangles, and it fits a quadratic model for each rectangle. It is globally convergent. The implementation is in Matlab and has the interesting feature of returning a user-specified number of suggested evaluation points, which makes parallelization easier. SNOBFIT handles box-constrained problems with a potentially noisy objective function, and achieves good performance in the tests of [28].

NOMAD. NOMAD is an implementation in C++ of the MADS algorithm, with several performance improvements and variations, available at <http://www.gerad.ca/nomad/>.

NOMAD is extremely general : it can handle black-box constrained problems and mixed-integer variables. Perhaps due to the generality of the implementation, the performance of NOMAD was below average in the experiments of [28]. On the other hand, it has the advantage of being well documented and tested, with a detailed user guide.

DAKOTA. DAKOTA [1] is a toolkit written in C++ for the analysis and optimization of complex systems that rely on simulation software. Its collection of optimization algorithms includes several evolutionary algorithms, an implementation of DIRECT, and an implementation of EGO. DAKOTA deals with box-constrained problems, and is available at <https://dakota.sandia.gov/>. In the evaluation of [28], DAKOTA is usually not among the best performing algorithms, although its performance is slightly better than average on nonconvex nonsmooth problems.

DFO. DFO is an implementation in Fortran of the trust-region method described in [4], with performance improvements discussed in [5]. It is available at <http://projects.coin-or.org/Dfo>. DFO handles box-constrained problems, and additionally has a special feature to indicate a failure in the evaluation of the unknown objective, in case the trial point falls outside the region where the objective can be evaluated. Similarly to DAKOTA and NOMAD, DFO did not shine in the evaluation of [28].

RBFOpt. RBFOpt is an implementation of the RBF method of [10], including several improvements described in [7]. The implementation is in Python and is available at <https://projects.coin-or.org/RBFOpt/>. RBFOpt can handle box-constrained mixed-integer problems, with a possibly noisy objective function. It should be noted that RBF methods are not tested in [28] because they target a slightly different type of problems than the other software listed above : RBF methods are tailored for nonconvex problems with a relatively small number of decision variables (< 20) and a very low budget of function evaluations available. The performance of RBFOpt seems competitive with the commercial RBF implementation in TOMLAB and other derivative-free solvers in the above mentioned setting, according to [7].

3 What remains to be addressed ?

We have barely scratched the surface of derivative-free optimization, but we hope that this paper gave an accessible introduction to the main ideas used since the early days. It should be clear by now that there are many algorithms that can be shown to (eventually) converge to a local or global optimum of any sufficiently smooth function. So, what remains to be done in this area ?

Dealing with constrained problems is an obvious step in making derivative-free optimization more applicable. However, solving a black-box problem with constraints entails considerable difficulties. A large part of the literature assumes that the constraints are smooth, i.e. they are not black-box and gradients can be computed. Linear constraints are in principle not much more difficult to handle than unconstrained problems : for direct search methods, care has to be taken in defining the step size to ensure

convergence to a KKT stationary point ; for model based methods, linear constraints can often be incorporated in the trial point selection process without too much trouble. Nonlinear constraints involve more difficulties : [18, Section 8] offers an excellent discussion on constrained optimization with direct search methods (see also [2]), while some model-based methods that can handle nonlinear constraints are described in [26, 12]. Dealing with black-box constraints is extremely difficult and typically their violation is simply penalized in the objective function.

The practice of operations research is often tied to efficient computer software, and algorithm engineering is crucial for a successful derivative-free optimization software. Having a theoretically convergent algorithm does not mean that the algorithm will perform well, but a proof of convergence is almost required for any derivative-free methodology that wants to be taken seriously. There will certainly be interest in efficient algorithms that can handle black-box constraints or integer variables effectively. Integer variables are often handled by existing algorithm only “incidentally”, insofar as algorithms are essentially developed for continuous nonlinear functions, and the integrality requirements are considered a nuisance. It would be interesting to see a derivative-free method that can deal with integer variables not just as a straightforward extension to its continuous counterpart. Parallelization is also a hot topic : the vast majority of derivative-free methods are sequential in nature, but modern computers have several CPU cores and can evaluate several trial points in parallel (assuming each trial point evaluation requires a simulation). An algorithm that can obtain linear speedup on large classes of problems would certainly have an impact, at least in practice.

Références

- [1] B. Adams, L. Bauman, W. Bohnhoff, K. Dalbey, M. Ebeida, J. Eddy, M. Eldred, P. Hough, K. Hu, J. Jakeman, L. Swiler, , and D. Vigil. DAKOTA, a multilevel parallel object-oriented framework for design optimization, parameter estimation, uncertainty quantification, and sensitivity analysis : Version 6.2 user’s manual. Technical Report SAND2014-4633, Sandia National Labs, 2014. Updated May 8, 2015.
- [2] C. Audet and J. Dennis Jr. Mesh adaptive direct search algorithms for constrained optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 17(1) :188–217, 2004.
- [3] M. Björkman and K. Holmström. Global optimization using the DIRECT algorithm in matlab. *Advanced Modeling and Optimization*, 1(2) :17–37, 1999.
- [4] A. R. Conn, K. Scheinberg, and P. L. Toint. Recent progress in unconstrained nonlinear optimization without derivatives. *Mathematical Programming*, 79(1-3) :397–414, 1997.
- [5] A. R. Conn, K. Scheinberg, and P. L. Toint. A derivative free optimization algorithm in practice. In *Proceedings of 7th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, St. Louis, MO, 1998.
- [6] A. R. Conn, K. Scheinberg, and L. N. Vicente. *Introduction to Derivative-Free Optimization*. MPS-SIAM Series on Optimization. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.
- [7] A. Costa and G. Nannicini. RBFOpt : an open-source library for black-box optimization with costly evaluations. Technical Report 4538, Optimization Online, 2014.
- [8] E. Fermi and N. Metropolis. Unclassified report. Technical Report LS-1492, Los Alamos National Laboratory, 1952.
- [9] P. Gill, W. Murray, and M. Wright. *Practical optimization*. Academic Press, London, 1982.
- [10] H.-M. Gutmann. A radial basis function method for global optimization. *Journal of Global Optimization*, 19 :201–227, 2001. 10.1023/A :1011255519438.
- [11] K. Holmström. An adaptive radial basis algorithm (ARBF) for expensive black-box global optimization. *Journal of Global Optimization*, 41(3) :447–464, 2008.
- [12] K. Holmström, N.-H. Quttineh, and M. M. Edvall. An adaptive radial basis algorithm (arbf) for expensive black-box mixed-integer constrained global optimization. *Optimization and Engineering*, 9(4) :311–339, 2008.
- [13] R. Hooke and T. Jeeves. Direct search solution of numerical and statistical problems. *Jorunal of the ACM*, 8 :212–229, 1961.
- [14] W. Huyer and A. Neumaier. Global optimization by multilevel coordinate search. *Journal of Global Optimization*, 14(4) :331–355, 1999.
- [15] W. Huyer and A. Neumaier. SNOBFIT – stable noisy optimization by branch and fit. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 35(2) :1–25, 2008.
- [16] D. Jones, C. Perttunen, and B. Stuckman. Lipschitzian optimization without the lipschitz constant. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 79(1) :157–181, 1993.
- [17] D. Jones, M. Schonlau, and W. Welch. Efficient global optimization of expensive black-box functions. *Journal of Global Optimization*, 13(4) :455–492, 1998.
- [18] T. G. Kolda, R. M. Lewis, and V. J. Torczon. Optimization by direct search : new perspectives on some classical and modern methods. *SIAM Review*, 45(3) :385–482, 2003.
- [19] K. McKinnon. Convergence of the Nelder–Mead simplex method to a nonstationary point. *SIAM Journal on Optimization*, 9(1) :148–158, 1998.
- [20] J. Moré and S. M. Wild. Benchmarking derivative-free optimization algorithms. *SIAM Journal on Optimization*, 20(1) :172–191, 2009.
- [21] J. A. Nelder and R. Mead. A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, 7(4) :308–313, 1965.
- [22] M. Powell. A direct search optimization method that models the objective and constraint functions by linear interpolation. In S. Gomez and J.-P. Hennart, editors, *Advances in Optimization and Numerical Analysis*, pages 51–67. Kluwer, Dordrecht, 1994.
- [23] M. Powell. Recent research at Cambridge on radial basis functions. In *New Developments in Approximation Theory*, volume 132 of *International Series of Numerical Mathematics*, pages 215–232. Birkhauser Verlag, Basel, 1999.

- [24] R. Regis and C. Shoemaker. Improved strategies for radial basis function methods for global optimization. *Journal of Global Optimization*, 37 :113–135, 2007. 10.1007/s10898-006-9040-1.
- [25] R. G. Regis. Stochastic radial basis function algorithms for large-scale optimization involving expensive black-box objective and constraint functions. *Computers & Operations Research*, 38(5) :837 – 853, 2011.
- [26] R. G. Regis and C. A. Shoemaker. Constrained global optimization of expensive black box functions using radial basis functions. *Journal of Global Optimization*, 31(1) :153–171, 2005.
- [27] R. G. Regis and C. A. Shoemaker. A stochastic radial basis function method for the global optimization of expensive functions. *INFORMS Journal on Computing*, 19(4) :497–509, 2007.
- [28] L. M. Rios and N. V. Sahinidis. Derivative-free optimization : a review of algorithms and comparison of software implementations. *Journal of Global Optimization*, 56(3) :1247–1293, 2013.
- [29] V. Torczon. *Multi-Directional Search : A Direct Search Algorithm for Parallel Machines*. PhD thesis, Department of Mathematical Sciences, Rice University, 1989.
- [30] V. Torczon. On the convergence of the multidirectional search algorithm. *SIAM Journal on Optimization*, 1(1) :123–145, 1991.
- [31] S. M. Wild, R. G. Regis, and C. A. Shoemaker. ORBIT : Optimization by radial basis function interpolation in trust-regions. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 30(6) :3197–3219, 2008.
- [32] S. M. Wild and C. Shoemaker. Global convergence of radial basis function trust-region algorithms for derivative-free optimization. *SIAM Review*, 55(2) :349–371, 2013.
- [33] D. Winfield. *Function and functional optimization by interpolation in data tables*. PhD thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1969.

ROADEF/EURO Challenge 2016

Inventory Routing Problem for Gas Distribution !

par **Eric Bourreau, Vincent Jost, Safia Kedad-Sidhoum et David Savourey**

Le lancement du challenge ROADEF/EURO 2016 est imminent. Le sujet a été dévoilé à Marseille à l'occasion du congrès ROADEF 2015 et l'entreprise qui le propose est Air Liquide, leader mondial dans la fourniture d'oxygène, d'azote, d'hydrogène ainsi que de nombreux autres gaz à l'ensemble des industries et aux professionnels de la Santé. Le challenge concerne le problème d'optimisation de tournées de véhicules avec gestion des stocks dit "Inventory Routing" pour la distribution de gaz industriels. Après la publication du sujet au cours du congrès EURO 2015 à Glasgow, une mise à disposition d'un premier ensemble d'instances et d'un vérificateur de solutions est prévue. Un second ensemble d'instances sera fourni début octobre et la date limite de remise des documents et programmes pour

la qualification est planifiée mi-décembre. Après évaluation par Air Liquide de ces programmes sur ces deux lots d'instances, les résultats des qualifications seront annoncés en février lors du congrès ROADEF 2016 à Compiègne. Concernant les prix, quelques changements autour du prix scientifique dont l'évaluation se fera dans le cadre du numéro spécial dédié au challenge en revue internationale, en plus des traditionnelles catégories junior et senior. Surveillez le site du challenge <http://challenge.roadef.org> !



Vie du GdR RO

par **Alain Quilliot, Arnaud Malapert et Safia Kedad-Sidhoum**

1 2015 : Une Année Décisive pour le GDR RO

Rappelons les faits : en Juin 2013, le GDR RO eut à effectuer un audit devant le Comité National 07 du CNRS, à l'issue duquel il fut renouvelé pour deux ans. Il avait donc à nouveau rendez-vous cette année avec le Comité National et l'INS2I, aux fins de pouvoir s'inscrire dans une perspective de plus long terme. Ce rendez-vous s'est tenu très récemment, le vendredi 05 juin exactement, le dossier de renouvellement du GDR ayant été été soumis en janvier 2015. Si le résultat n'en est malheureusement pas encore connu, on peut tout au moins mentionner le fait que l'audition s'est déroulée, dans une atmosphère très cordiale, et surtout, s'efforcer de revenir sur le travail réalisé tout au long de ces trois dernières années, et, dans le cas où une décision favorable au GDR serait prise par l'Institut INS2I, sur les points qu'il conviendrait d'aborder dans les années à venir.

A partir de la fin 2012, le GDR a, du fait du cahier des charges rédigé par l'Institut INS2I pour ses GDR, adapté sa stratégie en la redéployant sur les mots clés : Structuration, Animation, Jeunes. Il s'est ainsi structurés en 3 pôles, et s'est efforcé de relancer ou créer des groupes de travail, pour parvenir à l'organisation suivante :

Pôle 1 : Modèles et Méthodes (M.Baiou, V.Paschos)

- PM (Programmation Mathématiques) : Philippe Mahy, Frédéric Messine
- AGAPE (Approximation) : Evripidis Bampis
- POC (Polyèdres et Optimisation Combinatoire) : A.Ridha Mahjoub, Mourad Baiou, Pierre Fouilhoux
- OR (Optimisation de Réseaux) : Sonia vanier, Eric Gourdin, Arnaud Knippel
- META (Métaheuristiques) : El Ghazali Talbi, Patrick Siarry, commun MACS
- RO et Graphes : Bernard Ries, Pierre Charbit, en interface avec le GDR I.M
- RO et Contraintes : Marie-José Huguet, Xavier Lorca, Arnaud Malapert

Pôle 2 : Problèmes Opérationnels (J.Carlier, F.Semet)

- BERMUDES : Christelle Bloch, Odile Morineau, Sylvie Norre, commun MACS
- P2LS (Lot-Sizing) : Nabil Absi, Safia Kedad-Sidhoum
- GOTHA : (Ordonnancement) : Imed Kacem, Antoine Jouglet, David Rivreau
- GT2L (Logistique/Transport) : Christian Prins, Frédéric Semet, commun MACS
- RO et Santé : Yannick Kergosien, Thierry Garaix
- RO et Systèmes Intégrés : Lilia Zaourar
- POOPT (Optimisation de Ressources/Systèmes Distribués) : Philippe Dutot, Denis Trystram, en Interface avec ASR

Pôle 3 : Décision : Modélisation, Evaluation, Prévision (A. Jean-Marie, P. Perny)

- ATOM (Optimisation Multi-Objectif) : Mathieu Basseur, Thibault Lust, Laetitia Jourdan
- TADJ (Théorie Algorithmique de la Décision et des Jeux) : Stefano Moretti, Patrice Perny
- COS (Contrôle Optimal Stochastique) : Anna Bušić, Emmanuel Hyon
- COpSi (Couplage Optimisation/Simulation) : David Duvivier, Hakim Artiba

Journées industrielles

Sous l'impulsion de plusieurs organisateurs (C. Lepape, J.C. Billaut, C. Gueret, F. Gardi, F. Sourd,...), il a également pris le parti d'organiser des journées de rencontres prospectives avec le monde des chercheurs industriels. Après avoir organisé en 2013 une première Journée Industrielle en collaboration avec le GDR ASR et la ROADEF, l'initiative a été reprise en 2014, en partenariat avec le GDR MACS (et la ROADEF). En 2015, cette manifestation se tourne vers la communauté des mathématiciens du GDR MOA (Optimisation), pour une manifestation programmée le 12 novembre à l'IHP.

Actions Jeunes Chercheurs

Egalement, sous l'impulsion de Lucie Galand, la responsable Jeunes, le GDR a financé des aides à la mobilité de doctorants. Quatre ont été ainsi soutenus en 2014 et six en 2015, ces derniers issus des laboratoires suivants :

- LAAS-CNRS pour 5 semaines à Budapest (Ordonnancement à contraintes énergétiques).
- LAMSADE pour 1 mois à l'Université de Bologne (Coloration de sommets avec dates d'échéance).
- LGI2A-Lens pour 3 séjours de 2 jours au CNAM (Tournées de véhicules sous incertitude).
- LIA-Avignon pour 3 mois à IBM Research - Dublin (Optimisation et développement durable).
- Univ. Valenciennes pour un séjour de 5 mois à l'UQAM (Transport intermodal de marchandises).
- LIRMM, pour un séjour à l'Etranger (Ordonnancement avec contraintes énergétiques).

Réunion d'information à Roadef

Le GDR a renforcé, grâce notamment à l'action de Frédéric Gardi, sa synergie avec la ROADEF, en organisant, à partir de ROADEF-2015 à Marseille, une Journée du GDR dans ROADEF. Celle-ci aura notamment vu se réaliser en 2015, un certain nombre de semi-plénières à caractère de tutorial :

- M. Baiou : Game Concept in Combinatorial Optimiza-

tion

- V. Paschos : Approximation ... Approximations
- D. Feillet, R. Wolfer-Calvo : Modèles de Logistique Urbaine
- Y. Kergosien, T. Garaix : Problématiques et Challenges pour RO et AD en Santé
- C. Gonzales : Modèles Graphiques pour la Décision : Développements Récents
- L. Gourves : Quelques éléments et défis en théorie algorithmique des jeux

Ecole d'été, soutiens, communication

Par ailleurs, sur proposition d'Imed Kacem, le GDR organisera à Metz à la fin de l'été 2015, une Ecole d'Eté de Recherche Opérationnelle. Cette école, centrée en 2015 sur les thèmes communs aux groupes AGAPE, POC et GOTHA, a vocation à se renouveler au cours des années suivantes.

Le GDR enfin, qui a soutenu au cours de ces trois années 2013-2015, un nombre important de manifestations (MOSIM, ALGOTEL, META, PGMO,...) et co-porté un programme Européen P.M.CURIE-RISE. Le GDR a aussi effectué, grâce au travail réalisé par Pierre Fouilhoux, un gros effort de communication, renouvelant fortement site web et listes de diffusion, et intégrant ceux-ci dans les infrastructures mises par le CNRS à disposition de ses GDR.

Avenir du GDR RO

Pour les années à venir, le GDR RO, qui a obtenu en 2015 une augmentation significative de sa subvention CNRS, doit prolonger la dynamique ainsi acquise, tout en se posant un certain nombre de questions :

- Sur sa capacité à couvrir l'intégralité de l'espace scientifique relevant de la RO, et à épouser ses tendances émergentes : décision robuste, réactive, on line, collaborative, sous incertitudes, problématiques du Revenue Management, du pilotage de l'Energie,...
- Sur l'International et sa capacité à éventuellement soutenir l'effort de laboratoire souhaitant susciter des projets de réseaux européens collaboratifs (GDRI,...)
- Sur le renouvellement de sa gouvernance, et l'introduction d'un certaine dose de formalisme dans les procédures présidant à celui-ci.

Ceci sera bien sûr, sous réserve que notre GDR RO soit renouvelé, une "histoire de demain". Pour l'heure, contentons-nous de croiser les doigts, en étant convaincu que ce GDR RO, tout comme notre Société Savante ROADEF, constituent des outils de premier plan pour le rayonnement et la reconnaissance de notre discipline et de nos laboratoires à l'intérieur de l'espace national, et qu'il est essentiel de les faire vivre.

2 Présentation du Groupe de Travail : RO et Contraintes

Afin de rassembler les chercheurs des communautés « Recherche Opérationnelle » et « Contraintes », les activités de l'ancien groupe de travail « Contraintes et RO » (ppcro.free.fr) ont été relancées grâce au soutien du GDR RO.

L'objectif de ce groupe de travail est de réunir régulièrement deux communautés scientifiques : une première communauté de chercheurs membres de ROADEF et une seconde communauté de chercheurs membres de l'AFPC.

La thématique visée concerne la modélisation et les méthodes de résolution de problèmes combinatoires, et plus spécifiquement de problèmes d'optimisation.

Une première journée scientifique organisée le mercredi 13 mai 2015 à Toulouse a réuni une trentaine de personnes. Dans la matinée, les participants ont assisté à la soutenance de thèse de Mohamed Siala intitulée « Search, propagation and learning in sequencing and scheduling problems ». Plusieurs exposés scientifiques ont eu lieu l'après-midi.

- Fahiem Bacchus, using SAT to solve stable matching problems with couples, University of Toronto.
- Simon de Givry, une comparaison de logiciels d'optimisation combinatoire sur une large collection de modèles graphiques, INRA.
- Charlie Vanaret, hybridation d'algorithmes évolutionnaires et de méthodes d'intervalles pour l'optimisation de problèmes difficiles, IRIT, ENSEEIHT.
- Adrien Maillard, génération d'ordonnements flexibles pour des satellites d'observation de la Terre, ONERA.

Les participants ont aussi discuté des prochaines actions du groupe de travail :

- l'organisation d'une école d'été aux JFPC 2016 ;
- l'organisation d'une session au congrès de la ROADEF 2016 ;
- l'organisation de journées scientifiques à l'occasion de soutenances de thèse intéressant les deux communautés.
- des actions conjointes avec le comité d'organisation de la conférence internationale CP 2016 qui aura lieu à Toulouse ;
- des actions de promotion du nouveau format XCSP 3.0 développé au CRIL permettant de représenter des réseaux de contraintes en XML ainsi qu'une participation à la CSPLib.

Une prochaine réunion devrait être organisée à Nice à la rentrée avec le comité d'organisation de CP 2016. Actuellement, les actions envisagées à CP 2016 sont l'organisation d'une compétition de résolution de problèmes dont le format reste à définir ou l'invitation de chercheurs de la communauté RO pour des sessions plénières. Par ailleurs, un nouveau site web devrait être mis en ligne prochainement.

Animateurs :

Marie-José Huguet (LAAS-CNRS, INSA, Univ. de Toulouse)
Xavier Lorca (École des Mines, Université de Nantes)
Arnaud Malapert (I3S, Université Nice Sophia Antipolis)

3 Présentation du Groupe de Travail P2LS : Planification de la Production et Lot-Sizing

L'activité scientifique autour des thématiques de la planification de la production et des problèmes de "lot-sizing" en recherche opérationnelle a connu une augmentation constante depuis une dizaine d'années en France. Cet intérêt grandissant s'est traduit par l'organisation annuelle, depuis 2007, de plusieurs sessions "lot-sizing" lors des congrès ROADEF. Le groupe "Planification de la Production et Lot-Sizing" P2LS du GDR RO a été créé à la fin de l'année 2013 pour animer ces thématiques au niveau national.

L'objectif du groupe de travail P2LS est de permettre des échanges scientifiques entre chercheurs en planification de production et lot-sizing pour favoriser l'émergence de nouvelles thématiques de recherche dans le cadre de projets collaboratifs. Le groupe vise également à favoriser des interactions avec les partenaires industriels du domaine (en particulier les éditeurs d'APS). Les activités du groupe de travail seront menées en collaboration avec les activités du EURO Working Group en Lot-Sizing créé en 2014. Une des ambitions du groupe est de fédérer la communauté des chercheurs dans le domaine du lot-sizing qui a notamment permis la création du workshop international en lot sizing IWLS à Gardanne en 2010 (iwls2010.emse.fr). Ce premier workshop sur invitation a été suivi de quatre autres éditions (Istanbul en 2011, Rotterdam en 2012, Bruxelles en 2013 et Porto en 2014), la prochaine édition aura lieu à Montréal en Août 2015.

L'existence d'un workshop international en lot-sizing qui se réunit chaque année permet de rassembler la communauté de chercheurs travaillant sur ce thème au niveau international. Dans ce cadre, de nombreux participants du GT P2LS y sont régulièrement présents et sont actifs dans l'animation scientifique de ces rencontres. Le groupe P2LS soutient la participation de jeunes chercheurs à ces manifestations.

La réunion de lancement du groupe a eu lieu à Bordeaux lors du congrès ROADEF'2014.

Le groupe vise notamment à favoriser des interactions avec les partenaires industriels du domaine. La première journée thématique du groupe P2LS a été organisée le 20 juin 2014 au LIP6 (Paris). Elle a donc porté sur les problématiques de lot-sizing rencontrées en milieu industriel. Plusieurs intervenants industriels ont présenté les problématiques relevant de problèmes de lot-sizing originaux :

- Marc Porcheron (EDF R&D)
- Claude Le Pape (Schneider-Electric)
- Cédric Hutt (AZAP)

Une session invitée du groupe de travail P2LS a eu lieu à Marseille lors du congrès ROADEF'2015. Elle a permis une présentation des différents travaux du domaine suivie par une réunion du groupe de travail.

La deuxième journée thématique du groupe s'est tenue à Paris, le 26 Juin 2015 sur le thème "Sustainable production planning". Les orateurs étaient

- Rémy Le Moigne (Inventons Demain)
- Wilco van den Heuvel (Erasmus University Rotterdam)
- Ayse Akbalik (Université de Metz)
- Robin Molinier (Université de Grenoble Alpes)
- Oussama Masmoudi (Université Technologies de Troyes)
- Céline Gicquel (Université Paris sud).

Plus d'infos sur le **site web** du groupe : p2ls.emse.fr

Animateurs :

Nabil Absi (Ecole des Mines de Saint-Etienne, LIMOS)
Safia Kedad-Sidhoum (Univ. Pierre et Marie Curie, LIP6)

Compte rendu de la 33ème JFRO

par **François Delbot, Mathieu Lacroix, Amélie Lambert, Thibaut Lust et Florian Sikora**

La 33ème édition des journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle s'est déroulée le mardi 23 juin 2015 dans les locaux du laboratoire LIP6 de l'Université Pierre et Marie Curie. Cette journée avait pour thème "Optimisation combinatoire multi-objectif" et était organisée conjointement avec le groupe de travail du GDR RO Application et Théorie de l'Optimisation Multiobjectif (ATOM). Elle a accueilli une quarantaine de participants. Cinq orateurs avaient accepté de faire un exposé. Ils ont présenté leurs travaux portant sur des méthodes de résolution de problèmes où plusieurs critères d'optimisation entrent en jeu. À la différence des problèmes mono-objectif, la solution de ces problèmes est en fait un ensemble de solutions dites "Pareto optimales" caractérisées par le fait qu'au moins un critère de chaque solution Pareto optimale n'est dominé par aucune autre des solutions de cet ensemble.

La journée a commencé par un tutoriel donné par Olivier Spanjaard (LIP6, Université Pierre et Marie Curie), présentant tout d'abord l'utilité et la pertinence de considérer certains problèmes sous plusieurs critères d'optimisation. Ensuite, l'orateur a présenté plusieurs méthodes de résolution exacte de ces problèmes, c'est à dire qui déterminent l'ensemble des solutions Pareto optimales. Deux de ces méthodes sont basées sur l'extension d'algorithmes qui avaient été au départ conçus pour l'optimisation mono-objectif : les algorithmes glouton et la programmation dynamique. Il a ensuite présenté deux algorithmes de résolution développés spécifiquement pour l'optimisation multi-objectif. Le premier est un algorithme en deux étapes, où la première phase consiste à déterminer l'ensemble des solutions extrêmes de la frontière de Pareto par un algorithme polynomial et où la deuxième phase consiste à caractériser les autres solutions Pareto optimales. Enfin, il a présenté une extension d'algorithme de branch-and-bound pour déterminer l'ensemble des solutions optimales. Cette fois la difficulté réside dans la caractérisation d'une borne inférieure (dans le cadre d'une minimisation) sur l'ensemble des solutions.

Le premier exposé de l'après-midi a été donné par Madalina M. Drugan (AI-Lab, Vrije Universiteit Brussel), et traite de la résolution des problèmes multi-objectifs de grande taille et possiblement stochastique via une extension des algorithmes de type "Multi-armed Bandit", qui sont basés sur des vecteurs de récompenses. Différents aspects théoriques et expérimentaux ont été présentés.

Le deuxième exposé donné par Paolo Medagliani (Hua-wei Technologies France) a présenté certaines problématiques multi-objectif dans le cadre du Software-Defined Networking (SDN) qui est une architecture réseau. Dans ce cadre, pour chaque requête sur le réseau, un contrôleur du réseau est chargé de calculer un chemin, qui doit respecter un certain nombre de contraintes (ressource, latence, etc...), et qui doit minimiser le coût de chaque chemin identifié. À des fins de robustesse, un deuxième chemin maximum disjoint au premier doit être également calculé, le problème entre ainsi dans le cadre de la programmation multi-objectif. Une autre problématique émerge lorsque de grandes quantités de flux doivent être acheminées sur le réseau. Le problème consiste alors à découper ces données de façon équilibrée, tout en minimisant à la fois le coût total et le nombre

de fois où les données sont découpées.

Le troisième exposé a été donné par Kerstin Dächert (Universität Duisburg-Essen - Lamsade Paris Dauphine), où elle a présenté un algorithme pour déterminer les ensembles de solutions non-dominées d'un problème d'optimisation multi-objectif basé sur une représentation vectorielle paramétrée des critères. Dans ce cadre, les paramètres sont choisis d'une façon qui impose qu'à chaque résolution, soit un nouveau point non-dominé est calculé, soit la partie considérée de l'espace des solutions peut être écartée. De plus, pour cet algorithme et dans le cas tri-critère, le nombre de résolutions dépend linéairement du nombre de points non-dominés.

Enfin, le dernier exposé de la journée a été donné par Sophie Jacquin (Dolphin, Laboratoire d'Informatique fondamentale de Lille) où elle a présenté une version multiobjectif du "Unit Commitment Problem (UCP)". Dans le cadre mono-objectif, ce problème consiste d'une part à déterminer quelles unités doivent être allumées et d'autre part l'ordonnement de la production sur les unités. Ici, le problème considéré prend en compte un second critère qui est la minimisation de la quantité de gaz à effet de serre émise lors de la production. La résolution est basée sur un algorithme génétique basé sur des vecteurs de variables binaires.

Les transparents des exposés de cette journée sont en ligne sur le site des JFRO : <http://jfro.roadef.org/>.

The vehicle routing problem repository

par **Jorge Mendoza et Christelle Guéret**

L'intérêt croissant porté par la communauté scientifique pour les problèmes de tournées de véhicules a conduit depuis de nombreuses années à la génération d'un grand nombre de jeux de données de test et de solutions pour ces problèmes. Cependant, ces données sont dispersées sur Internet dans des dizaines (voire des centaines) de formats différents. Par le passé, certains membres de la communauté ont cherché à les centraliser sur des plateformes. Malheureusement, ces plateformes sont "fermées" et dépendantes d'une seule personne, ce qui rend leur maintenance et leur mise à jour très difficile. Le projet VRP-REP a pour objectif de fournir à la communauté une plateforme collaborative pour partager des données pour les problèmes de tournées de véhicules. Cette plateforme comporte un nombre important de services facilitant la recherche et gestion de données, notamment : le téléchargement de jeux de données, le téléchargement de tableaux de résultats pour les jeux de données enregistrés sur la plateforme, et la recherche de références bibliographiques par jeux de données ou types de problème. VRP-REP comporte aussi un nombre d'outils facilitant le traitement des données, parmi lesquels on peut citer : un format universel XML pour la représentation des jeux de données, et des bibliothèques de code open source pour la lecture/écriture de données et la vérification de solutions.

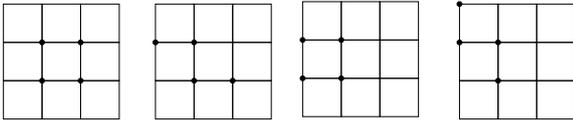
La version 1.0.0 de la plateforme a été mise en ligne en Décembre 2014 et est accessible à l'adresse : <http://www.vrp-rep.org>. VRP-REP compte aujourd'hui 75 utilisateurs actifs, plus de 35 jeux de données pour une dizaine de types de problèmes, et plus de 1,300 solutions pour les instances de ces jeux de données.

Enigme : damnés pions !

par Denis Cornaz

Soient 4 pions placés sur un plan aux quatre coins d'un carré. On peut déplacer un pion en le faisant sauter par-dessus un autre (c'est-à-dire que si deux pions sont à des points A et B, alors on peut déplacer le pion en A en A', le point tel que B est le milieu de segment AA').

Peut-on déplacer les pions de manière à ce qu'ils forment un carré strictement plus grand ?



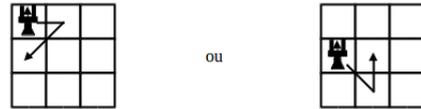
Solution de l'énigme du bulletin n° 33 :

Il suffit de considérer un tracé de longueur minimum (minimisant la somme des longueurs des segments) car il ne peut pas avoir de croisement.

Enigme : une seule fois

par Jean-Yves Lucas

Voici un jeu singulier : on dispose d'un plateau de jeu carré constitué de neuf cases, et d'une seule pièce, la Foutourfou (aussi appelée pour d'obscures raisons Tourfourtour en de lointaines contrées). Cette pièce se déplace d'une case à la fois, soit en ligne (horizontalement ou verticalement) soit en diagonale, mais en alternant ces deux modes : un déplacement en ligne ne peut être suivi que d'un déplacement en diagonale, et un déplacement en diagonale ne peut être suivi que d'un déplacement en ligne. Par exemple :



Le but du jeu est de trouver un trajet de la Foutourfou passant une fois et une seule par chacune des cases du plateau de jeu. Trouverez-vous une solution ?



VeRoLog 2016

SAVE THE DATE

The next VEROLOG conference will be held in the city of

Nantes, France
on **June 6-8, 2016.**

Please save the date in your agenda and we will be happy to welcome you for this international event. More information and website will come soon.

We will be happy to welcome you in the Ecole des Mines de Nantes on June 6-8, 2016.

The VEROLOG 2016 team
Christelle Guéret – Fabien Lehuédé
Jorge E. Mendoza – Olivier Péton – Marc Sevaux
<verolog2016@mines-nantes.fr>

amadeus
Your technology partner

Artelys | OPTIMIZATION SOLUTIONS

edf

EURODECISION
OPERATIONAL RESEARCH

Google

Innovation24

QUINTIQ

SNCF

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 : Le texte soumis pour parution dans le bulletin doit être fourni à Olivier Spanjaard (vpresident1@roadef.org), préférablement sous forme de document latex.

Comité de rédaction : L. Alfandari, L. Brotcorne, S. Elloumi, F. Gardi, N. Jozefowicz, C. Rapine, O. Spanjaard.

Composition du Bulletin : O. Spanjaard.

Ce numéro a été tiré à **339** exemplaires. Les bulletins sont disponibles sur le site de la ROADEF.