



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

Sommaire

Le mot du bureau	1
Entretien avec Adam Ouorou	2
Non Convex Mixed Integer Non Linear Program- ming (C. D'Ambrosio)	4
"Sustainable manufacturing" (O. Battaïa)	8
Recherche et innovation à Amadeus (B. Lardeux et A. Salch)	12
Vie du GdR RO (P. Fouilhoux)	15
ROADEF/EURO Challenge 2016 (E. Bourreau, V. Jost, S. Kedad-Sidhoum, D. Savourey)	17
Bilan du congrès ROADEF 2016 à Compiègne (A. Moukrim)	18
Compte rendu de la 35ème JFRO (F. Delbot, M. Lacroix, A. Lambert, T. Lust, F. Sikora)	18
La soirée des Pros de la RO du 27 novembre 2015 (Bureau ROADEF)	19
L'énigme de l'été 2016 : "Contrepétrie" (D. Cornaz)	19

Le mot du bureau

par **Sourour Elloumi**

Chers membres de la ROADEF,

Au nom du bureau 2016-2017, je souhaite vous remercier de votre confiance et de votre soutien. C'est grâce à vos adhésions et à votre participation à notre congrès annuel, ainsi qu'aux autres activités de la ROADEF, que notre association perdure et contribue au rayonnement de nos disciplines scientifiques. Le bulletin est une illustration concrète

de vos contributions.

Le numéro que vous avez entre les mains est le premier conçu et élaboré par Anna Robert, après un passage de témoin facile et efficace par Olivier Spanjaard qui s'était occupé du bulletin pendant quatre ans. Il est également le premier à arborer le nouveau logo de la ROADEF. Vous y trouverez une interview d'Adam Ouorou qui nous donne l'occasion d'en savoir un peu plus sur son parcours personnel et sur la pratique de la RO dans le groupe Orange. Un autre éclairage sur la pratique de la RO dans l'industrie et les collaborations entre industriels et universitaires nous est apporté par Benoît Lardeux et Alexandre Salch de l'équipe "Analysis and Research" d'Amadeus. Deux articles de synthèse sont rédigés l'un par Claudia D'Ambrosio du LIX, 2ème prix Robert Faure 2015, sur la programmation non-linéaire en variables mixtes et l'autre par Olga Battaïa de l'ISAE sur la logistique durable. Vous découvrirez également un bilan de notre conférence de février dernier à Compiègne et nous en profitons pour vous demander d'inscrire dans vos nouveaux agendas les dates de la conférence de Metz, du 22 au 24 février 2017. Ce numéro contient bien entendu les rubriques désormais habituelles sur la vie du GdR RO, les Journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle et le déroulement du Challenge ROADEF/EURO émanant d'Air Liquide : découvrez les vainqueurs de cette édition, dont les noms ont été révélés tout récemment à Poznan en page 17 ! Enfin, vous avez tout l'été pour réfléchir à l'énigme de Denis Cornaz. Le bureau de la ROADEF tient à remercier tous les contributeurs, reste à l'écoute de toutes vos propositions et vous souhaite un excellent été 2016 !

Contactez le bureau

Vous pouvez joindre chaque membre du bureau par e-mail à partir de sa fonction :

- Président : Sourour Elloumi, president@roadef.org
 - Secrétaire : Aziz Moukrim, secretaire@roadef.org
 - Trésorier : Nicolas Jozefowicz, tresorier@roadef.org
 - Vice-président 1 (bulletin) : Anna Robert, vpresident1@roadef.org
 - Vice-président 2 (site web) : Antoine Jeanjean, vpresident2@roadef.org
 - Vice-président 3 (4'OR et relations internationales) : Sophie Demasse, vpresident3@roadef.org
 - Chargée de mission pour la promotion de la RO/AD : Meltem Ozturk, meltem.ozturk@dauphine.fr
- Pour écrire à l'ensemble du bureau, vous pouvez utiliser l'adresse : bureau@roadef.org

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

Entretien avec Adam Ouorou

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



Adam OUOROU est aujourd'hui Directeur d'un programme de recherche au sein d'*Orange Labs Recherche*, dans le domaine de la Confiance et la Sécurité.

Ton positionnement dans le monde de la RO, et notamment chez Orange

Parle-nous rapidement de ton parcours, quand et comment as-tu commencé à faire de la RO ?

J'ai fait une bonne partie de mes études supérieures en Afrique à l'Université Nationale du Bénin (mon pays natal) et à l'Université Cheik Anta Diop de Dakar (Sénégal) où j'ai fait ma licence et ma maîtrise en mathématiques. J'ai ensuite poursuivi avec un Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) de Recherche Opérationnelle à l'Université Joseph Fourier de Grenoble. C'est ainsi que j'ai commencé à faire de la RO. Après mon DEA, j'ai fait une thèse sur une classe de méthodes de décomposition et leurs applications à des problématiques télécom, thèse soutenue à l'Université Blaise Pascal. Je suis aussi titulaire d'une Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) de l'Université Paris I, Panthéon-Sorbonne, soutenue après avoir intégré Orange Labs (France Telecom R&D à l'époque) : <https://recherche.orange.com>

Cela fait maintenant 15 années que tu travailles chez France Télécom, puis Orange, parle-nous des différentes missions que tu as eues dans cette entreprise.

En effet, le temps passe vite. J'ai débuté par des activités de recherche sur des outils d'optimisation de réseaux d'accès et cœur. J'ai ensuite pris la responsabilité de projets de recherche en RO dans un premier temps de façon conjointe avec mon collègue Eric Gourdin (qui a été trésorier de la ROADEF), puis dans le cadre d'un programme de recherche (regroupant plusieurs projets) selon les organisations de la Recherche. Je suis actuellement Directeur d'un domaine de la recherche sur la Confiance et la Sécurité dans lequel la RO a un réel apport.

Aujourd'hui, en quoi consiste ton activité ? Sur quels sujets travailles-tu principalement ?

Je dirige un programme de recherche au sein d'Orange Labs Recherche et je contribue dans le même temps aux projets de recherche impliquant la RO. Mes centres d'intérêt portent sur les techniques d'optimisation en général et en particulier l'optimisation non-différentiable, l'optimisation robuste et les applications de la RO en télécommunications. La RO a une visée d'applications très large par essence, je m'intéresse actuellement à ses applications au domaine de la sécurité et de l'anonymisation des données.

La RO chez Orange

Au-delà de ton parcours et de tes propres activités, comment la filière RO s'organise-t-elle et s'implante-t-elle chez Orange ?

Les compétences en RO sont réparties dans des équipes

de recherche et contribuent collectivement aux projets de recherche appliquant les techniques de RO aux problématiques à fort enjeu pour le Groupe Orange. Celui-ci a une politique forte en matière de formation de doctorants et peut s'enorgueillir de compter sur près de 150 doctorants et post-doctorants, travaillant sur l'ensemble de ses activités de recherche, et dont certains sont dédiés à la RO et ses applications en télécommunications. Les choix des sujets d'étude se font de plusieurs manières. Les ingénieurs de recherche, se basant sur la stratégie du Groupe, sont à même d'identifier les problématiques à fort enjeu et pour lesquelles l'emploi de la RO peut être bénéfique. Dans d'autres cas, les études sont demandées spontanément par des services opérationnels ou des collègues n'ayant pas la compétence RO mais dont les activités de recherche débouchent parfois sur des problèmes relevant de cette discipline. Nous avons du progrès à faire en interne pour la promotion de la RO (et plus généralement de l'aide à la décision) et son potentiel.

Quels sont les thématiques et les projets pour lesquels la RO a une forte valeur ajoutée chez Orange ?

Les réseaux impliquent souvent des investissements importants, la RO ne peut être qu'un atout dans les projets pour optimiser leur conception. Mais il n'y a pas que dans l'optimisation des coûts que la RO apporte une plus-value. Un peu comme la puissance d'un moteur de voiture que l'on éprouve dans une côte, ses techniques sont souvent en tâche de fond dans de nombreux outils sans que ce soit la RO qui soit mise en avant. Nous avons fourni deux exemples (dimensionnement et design optimisés des réseaux radio-mobiles, et un outil adapté à l'analyse de grandes bases de données baptisé Khiops, www.khiops.com) où la RO intervient efficacement, dans le livre blanc de la RO édité par la ROADEF grâce à Jean-Christophe Culioli à qui je rends hommage.

Raconte-nous l'une des plus belles expériences de RO qu'Orange ait connue ces dernières années.

L'une de nos plus belles expériences récentes de RO est indéniablement l'ensemble des travaux sur le déploiement de la fibre optique. Ces travaux ont permis à Orange d'être l'un des quatre lauréats sélectionnés par la ROADEF dans le cadre de son concours « Les pros de la RO » en fin d'année dernière, avec le projet « Fiber to the home » défendu par Matthieu Chardy.

Une mauvaise expérience ?

Il y en a toujours mais je suis optimiste de nature et préfère ne garder que les bonnes expériences. Cependant comme dans la vie en général, il est essentiel de tirer des leçons de ses échecs. La réussite d'un projet de RO ne dépend pas uniquement de la technique (au contraire c'est la partie la plus amusante). Les difficultés sont souvent d'un tout autre ordre. On peut rencontrer parfois de la résistance aux techniques modernes ou la crainte d'une remise en cause d'une méthode qu'on croit éprouvée. . .

Quels peuvent être les parcours d'un ingénieur en RO chez Orange : profils recrutés, postes occupés, évolutions, etc. ?

Il n'y a pas un parcours type pour un ingénieur en RO chez Orange. Certains choisissent une voie d'expertise en approfondissant des domaines de RO toujours en lien avec

des préoccupations télécom, ou prennent en charge des projets de recherche ou des équipes de recherche après quelques années d'expérience. D'autres ingénieurs en RO choisissent de rejoindre des entités opérationnelles après avoir quelques années d'activités de recherche. Les profils sont diversifiés et incluent des universitaires avec un doctorat en RO, des ingénieurs de grandes écoles (ayant une composante RO dans leur formation) comme l'ENSIMAG ou l'ENSTA. Il est possible pour les non doctorants de préparer un doctorat sur une partie de leur temps de travail en accord avec leurs responsables hiérarchiques. Il faut noter que les docteurs que nous formons constituent un bon vivier de recrutement.

Les diverses relations entre la RO et le monde qui l'entoure

Quelle est ta vision de la politique « marketing » interne d'une équipe de RO en entreprise ?

Le marketing de la RO est primordial. Comme je l'indiquais plus haut, une mise en œuvre efficace n'est pas uniquement technique mais nécessite une implication forte des personnes (clients de la RO) à qui les résultats finaux sont destinés et qui vont les exploiter. Nous avons donc un devoir d'explication et de diplomatie en évitant d'utiliser le jargon de la RO auprès des opérationnels. Il est aussi primordial d'être honnête sur les possibilités et limites de la RO et savoir ramener aux réalités certains enthousiastes qui peuvent en attendre trop. Les résultats devraient être exploités en ayant à l'esprit les hypothèses considérées pour aboutir à des modèles traitables.

Tes partenariats, tes activités à l'externe, avec d'autres entreprises, des universités, à l'étranger, etc. il y a la RO, Orange, et sans doute beaucoup d'autres choses qui gravitent autour ?

Je tiens aux relations fortes entre l'industrie et le monde académique. Nos doctorants sont formés conjointement avec des universitaires au travers de contrats CIFRE. Nous faisons parfois appel au monde académique pour résoudre des difficultés théoriques majeures avec des contrats de recherche externes. A titre personnel, j'interviens dans certaines formations pour montrer l'apport de la RO en entreprise. Une chose qui me tient à cœur également est le développement de cette discipline et des mathématiques en général en Afrique. Je tente d'y apporter ma contribution à travers divers comités internationaux : IFORS (www.ifors.org), AIMS (www.nexteinstein.org). Nous avons aussi mis en place avec des collègues d'autres entreprises un club informel de réflexion sur la pratique de la RO en industrie.

Quelle est ta vision d'une bonne collaboration d'une entreprise avec l'externe ?

Certaines conditions me semblent indispensables pour le succès de toute collaboration. La complémentarité des compétences, la disponibilité et l'ouverture d'esprit entre partenaires et la confiance. Il n'y a rien de forcément spécifique à la RO.

L'évolution de la RO

Comment vois-tu la RO dans 10 ou 20 ans ? Où se situera-t-elle dans le panorama des technologies ?

Je suis confiant sur l'avenir de la RO. Les exemples ne manquent pas pour montrer sa plus-value quand elle est mise à contribution de façon intelligente. Elle tire profit des avancées technologiques et avec la puissance de calcul, on résout maintenant des problèmes qu'on n'aurait pas imaginé pouvoir appréhender auparavant. Désormais, on ose aborder des problèmes réputés difficiles et qui rebutaient. L'un des objectifs de la RO est l'aide à la décision et l'optimisation (des ressources, etc.). Optimiser a toujours été le propre de l'homme et il n'y a pas de raison que cela change. La RO aura une belle place mais à condition que les praticiens aussi bien industriels qu'académiques maintiennent une pédagogie et une communication auprès des pouvoirs publics, des dirigeants des entreprises, du grand public et des jeunes pour continuer à susciter des vocations.

Quels sont les freins et obstacles que la RO rencontre encore sur la route de son développement ?

Je ne pense pas encore une fois que les obstacles seront au niveau technique. On a fait beaucoup de progrès et on résout maintenant des problèmes inimaginables il y a encore quelques années. Sur le plan technique (modèles et méthodes), je suis confiant, on continuera d'innover. Les obstacles principaux que je vois sont de deux ordres, la communication et la formation. La RO n'est pas simple à appréhender par le grand public et par ceux ou celles qui ne la pratiquent pas. Il y a un travail indéniable de ce côté car l'impact de la communication est de plus en plus grand quelle que soit la science afin de continuer à bénéficier de conditions favorables à son développement. Regarder le buzz qu'il y a eu et qui continue autour du Big Data. Certains ont même avancé que ce dernier pourrait remplacer la RO. Pour moi, ce ne sont que des facettes différentes de l'aide à la décision (la RO étant par ailleurs utilisée dans les techniques sous-jacentes au Big data). Le fait que la RO puisse considérer des cas d'usage différents et variés peut la rendre suspecte. En fait, le goût du concret doit conduire l'action du chercheur en RO (en industrie). Et par ailleurs, un grand soin doit être apporté à la présentation des résultats. Les efforts de formation y compris dans les grandes écoles (qui forment une bonne majorité des futurs dirigeants d'entreprise) me semblent indispensables pour diffuser un peu partout le langage et les méthodes de la RO.

Non Convex Mixed Integer Non Linear Programming

par **Claudia D’Ambrosio** (LIX)

1 Introduction and real-world applications

In the last decade, Mixed Integer Non Linear Programming (MINLP) has increasingly captured the attention of the mathematical optimization community. MINLP problems are very challenging both from a theoretical and a practical viewpoint, typically because of the simultaneous presence of integrality constraints and non linearities, or, more specifically, non convexities. An example is provided by Vavasis in [32] where he shows that minimizing a quadratic function subject to box-constraints is an NP-hard problem, both in the case of continuous and integer variables. To be more precise, non convex integer programming problems may be, in general, undecidable : Jeroslow presents in [16] an example of a quadratically constrained integer program that cannot be optimized by any computing device. In the remainder, we concentrate on the case where MINLP is decidable, which we can achieve by ensuring that each variable has finite lower and upper bounds.

Mixed integer non linear programming is currently one of the largest class of problems for which a general purpose solver exists. MINLPs may involve linear and non linear functions of continuous, binary, and integer decision variables. As such, it captures an incredibly diverse variety of optimization problems. Real problems arising in engineering, industry or the natural sciences often come with a lot of technical overhead, which somehow obfuscates the essential underlying difficulties. Examples of real-world applications of MINLP are water network design [14] and pooling problem [11], only to mention a few.

2 Non convex MINLP problems and relevant subclasses

In this section, we define mathematical formulations for non convex MINLP problems in general and two of its subclasses, i.e., the mixed integer quadratically constrained quadratic programming (MIQCQP) problems and the mixed integer polynomial programming (MIPP) problems.

A non convex MINLP problem can be formulated as follows :

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) \\ \text{s.t.} \quad & g(x) \leq 0 \\ & x \in [l, u] \\ & x_j \in \mathbb{Z} \quad \forall j \in I \end{aligned} \quad (1)$$

where $l, u \in \mathbb{R}^n$ with $l \leq u$ and $I \subseteq \{1, \dots, n\}$. We denote $[l, u] := \prod_{j=1}^n [l_j, u_j]$ and assume without loss of generality that $l_j, u_j \in \mathbb{Z}$ for $j \in I$. We assume that functions $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ and $g : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$ are twice differentiable continuous functions. In general, MINLPs are defined non convex when the feasible region of their continuous relaxation is a non convex set.

Relevant subclasses of MINLP problems exist such as, only to mention a few :

- MIQCQPs : the most widely studied subclass of MINLP problems, functions f and g are assumed to

be quadratic. The interested reader is referred to Section 5 of [7].

- MIPPs : f and g are assumed to be polynomial. To the best of our knowledge, no survey exists on polynomial optimization, but we refer the interested reader to the PhD thesis [24] that contains an extensive overview, more focused on the purely continuous case and to the papers [5, 18, 6] on methods for polynomial MINLPs.
- convex MINLPs : interesting subclass of MINLPs as its continuous relaxation can be solved effectively in polynomial time [4]. Several methods for mixed integer linear programming have been extended to deal with convex MINLPs.
- separable MINLPs : f and g are separable, i.e., they can be written as summation of univariate functions. Tailored method can be found in the literature, see, for example, [31, 10, 15].

In the following, we will focus on general non convex MINLP problems.

3 Methods for non convex MINLP problems

In general, mathematical programming algorithms are divided into two classes : exact and heuristic. Informally speaking, exact algorithms provide a guarantee that the solution is globally optimal, whereas heuristic algorithms do not. Heuristic algorithms are usually conceived using some sort of intuition or good practice and are aimed at finding good quality solutions in a short amount of time. Thus, they are often used in practice to solve real world applications.

In the literature we can find several types of convex (or linear) relaxations and reformulations of MINLP problems. The use of standard or non standard relaxations results in dealing with a problem that has a larger feasible set and/or an objective function that is an underestimator of the original one and that is “more tractable”, typically both from a theoretical and a practical viewpoint. We refer to [25, 9, 12, 7, 19, 2, 13] for an overview of standard methods for MINLPs.

If the formulation involves non linear functions and continuous variables, it is likely that solutions may not be representable exactly using floating point numbers ; we still call the algorithms “exact” in this setting if they provide an ε guarantee on the optimality of the (approximated) solution they find. More precisely, let x^* be a global optimum of a MINLP problem whose components involve irrational numbers ; and let A be an algorithm can find an approximated solution \bar{x} such that $|f(\bar{x}) - f(x^*)| < \varepsilon$. Then we still include A in the class of exact algorithms.

In the following we describe the most commonly used methods for solving general non convex MINLPs (skipping the description of special-purpose methods, such as those for the subclasses of MINLPs mentioned in Section 2, for example).

Coming back to the general MINLP problem (1), whenever functions f or g are non convex, one of the main issues one has to deal with is that the continuous relaxation (NLP) of MINLP problems have, in general, local minima which might be not global. Thus, if the NLP solver used to solve the NLP subproblems does not guarantee that the solution provided is a global optimum (as typically the case), feasible and even optimal solutions might be fathomed, for example,

by comparison with an invalid lower bound.

Moreover, another key ingredient of classic methods for convex MINLPs are the linearization cuts which are, in general, not valid for non convex constraints, thus part of the feasible region might be cut off together with infeasible points as depicted in Figure 1.

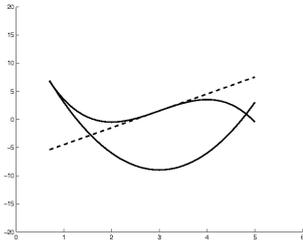


Fig.1. An invalid cut for non convex MINLP

The cut represented by the dashed line cuts off part of the feasible region, i.e., the one above the cut, thus we might cut off the optimal solution. To avoid this, one should avoid using linearization cuts based on the convexity assumption. Summarizing, methods for convex MINLPs could be used to solve heuristically non convex MINLPs.

Let us now consider exact algorithms for general non convex MINLPs. Whenever it is possible, the first approach to adopt is to *fully* reformulate the problem so as to get a “more tractable” problem as, for example, a convex MINLP. The great majority of MINLP problems cannot be reformulated to an equivalent convex MINLP exactly, i.e., in such a way that (i) all feasible points of (1) are mapped to unique and feasible points of the convex reformulation feasible region; and (ii) no other mixed integer (infeasible) solution belongs to it. Once this reformulation is performed, convex MINLP techniques can then be safely applied to the reformulated problem. For more details on reformulations, the reader is referred to [22].

Next, we focus on the approaches which apply to the MINLPs that cannot be reformulated as proposed above. The common ingredient is the convex envelopes or underestimators of functions f and g of (1) that are used to replace them and, thus, consider a larger convex feasible region that contains the non convex one.

In order to automatically perform the relaxation with convex envelopes/underestimators mentioned above, we need to perform the following steps :

- for each non linearity in (1), add auxiliary variables and replace each occurrence of the non linearities with the corresponding auxiliary variable. This step is needed to isolate the non linearities and make them simpler.
- relax the basic non linearities, now included in the constraints corresponding to the auxiliary variables definition, are relaxed by using well known simple convex envelopes/underestimators.

In order to be able to apply the steps above, we assume that f and g are *factorable* functions, i.e., functions that can be expressed as summations and products of univariate functions after appropriate recursive splitting :

$$f = \sum_h \prod_k f_{hk}(x),$$

where $f_{hk}(x)$ are univariate functions for all h, k . For

example, function f above can be reformulated as

$$\begin{aligned} s_{hk} &= f_{hk}(x) && \forall h, k \\ s'_h &= \prod_k s_{hk} && \forall h \\ f &= \sum_h s'_h. \end{aligned}$$

By replacing for each h, k $f_{hk}(x)$ and $\prod_k s_{hk}$ with its convex envelope/underestimator, we then get a convex underestimator of f . The reformulation above can be performed automatically by non convex MINLP solvers so as to have f_{hk} and $\prod_k s_{hk}$ as predetermined operators for which convex underestimators are known, see, for example [20, 23, 29].

The operations described above have two effects on (1) : on the one hand, the introduction of auxiliary variables and isolation of simple non linearities increase the number of variables and constraints, on the other hand, replacing f and g with their convex envelopes/underestimators makes the feasible region larger. The latter effect implies that, if the optimal solution of the convex relaxation of (1) is feasible for the original problem itself, it is also its global optimum. If it is not, a refinement of the underestimation is needed. This is made possible thanks to the branching on continuous variables involved in the non linear terms as depicted in the Figure 2 (note that if $I \neq \emptyset$ also branching on integer variables is performed as in the classic branch and bound algorithms for MILPs) :

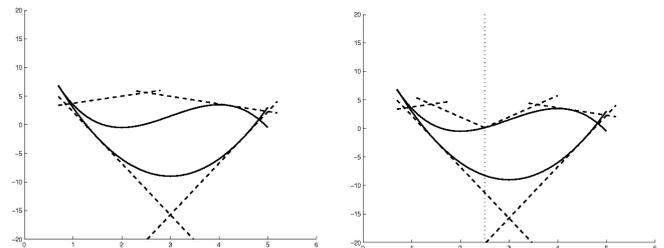


Fig.2. Linear relaxation of a non convex feasible region before and after branching. On the right, the branching allows to split the problem into two subproblems (one on the left and one on the right of the vertical line), thus to get a better linear relaxation.

Branching on continuous variables allows one to have a non-decreasing lower bound on the non convex MINLP optimum that can be used within the branch-and-bound algorithms specialized for global optimization, namely *spatial* branch-and-bound [29, 3], branch-and-reduce [27, 28, 30], α -BB [1], Branch-and-Cut [17, 26]. The algorithms mentioned above provide a solution that is guaranteed to be globally optimal. The differences between the different versions reside mainly in the underestimators used, the techniques employed to strengthen the relaxations, and the branching scheme adopted (the priority can be given to the integer or continuous variables, for example, in different phases of the exploration).

As expected, algorithms of this type result, in general, being very time-consuming and can solve only small- to medium-size instances in a reasonable time. The award for this is the guarantee of the global optimality of the solution provided.

Several issues show up when writing software for solving exactly non convex MINLPs but this discussion is out of

the scope of this paper, thus we refer the interested reader to [20, 21, 8]. Finally, we list some general purpose solvers for non convex MINLP problems : α BB, ANTIGONE, BARON, Couenne, LINDO-g1oba1, and SCIP.

4 Conclusion and future perspectives

Mixed integer non linear programming is a powerful tool that allows to model an extremely large class of real world problems. However, solving this kind of problems is a hard task both from a theoretical and a practical viewpoint. In this paper, we provided an overview of the challenges the methods for non convex MINLP problems have to face and the main ingredients of these algorithms.

We think that MINLP technology is far behind the MILP one and that in the near future exciting new research will have MINLP problems as main character. In particular, MINLP solvers need to strengthen their relaxations thanks to cuts (that are a fundamental ingredient of the MILP methods) and to maximize their chances to compute good feasible solutions, thanks to effective heuristic methods. These objectives can be achieved by developing more sophisticated ways to identify and exploit structures hidden behind the MINLP formulations.

Références

- [1] I. Androulakis, C. Maranas, C. Floudas. α BB : A global optimization method for general constrained nonconvex problems. *Journal of Global Optimization*, **7** :337–363, 1995.
- [2] P. Belotti, C. Kirches, S. Leyffer, J. Linderoth, J. Luedtke, A. Mahajan. Mixed-integer nonlinear optimization. *Acta Numerica*, **22** :1–131, 2013.
- [3] P. Belotti, J. Lee, L. Liberti, F. Margot, A. Wächter. Branching and bounds tightening techniques for non-convex MINLP. *Optimization Methods and Software*, **24** :597–634, 2009.
- [4] S. Boyd, L. Vandenberghe. *Convex Optimization*. Cambridge University Press, Cambridge, New York (NY), U.S.A., 2004.
- [5] C. Buchheim, C. D’Ambrosio. Box-constrained mixed-integer polynomial optimization using separable underestimators. In : *Integer Programming and Combinatorial Optimization – 17th International Conference, IPCO 2014, LNCS, vol 8494, pp 198–209, 2014.*
- [6] C. Buchheim, C. D’Ambrosio. Monomial-wise Optimal Separable Underestimators for Mixed-Integer Polynomial Optimization, *Journal of Global Optimization* (to appear).
- [7] S. Burer, A.N. Letchford. Non-convex mixed-integer nonlinear programming : a survey. *Surveys in Operations Research and Management Science*, **17** :97–106, 2012.
- [8] M.R. Bussieck, S. Vigerske. MINLP Solver Software In : *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science* Cochran, James J. and Cox, Louis A. and Keskinocak, Pinar and Kharoufeh, Jeffrey P. and Smith, J. Cole editors. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [9] C. D’Ambrosio. Application-oriented mixed integer nonlinear programming. *4OR : A Quarterly Journal of Operations Research*, **8** :319–322, 2010.
- [10] C. D’Ambrosio, J. Lee & A. Wächter. An algorithmic framework for MINLP with separable non-convexity. In J. Lee & S. Leyffer (eds.) *Mixed-Integer Nonlinear Programming*, pp. 315–348. *IMA Volumes in Mathematics and its Applications*, vol. 154. Berlin : Springer, 2011.
- [11] C. D’Ambrosio, J.T. Linderoth, J. Luedtke. Valid Inequalities for the Pooling Problem with Binary Variables. *Lecture Notes in Computer Science* vol. 6655, Integer Programming and Combinatorial Optimization Conference - **IPCO 2011**, O. Gunluk and G.J. Woeginger eds., Springer-Verlag, pp. 117-129, 2011.
- [12] C. D’Ambrosio, A. Lodi. Mixed integer nonlinear programming tools : a practical overview. *4OR : A Quarterly Journal of Operations Research*, **9**(4) :329–349, 2011.
- [13] C. D’Ambrosio, A. Lodi. Mixed integer nonlinear programming tools : an updated practical overview. *Annals of Operations Research*, **204**(1) :301–320, 2013.
- [14] C. D’Ambrosio, A. Lodi, S. Wiese, C. Bragalli. Mathematical programming techniques in water network optimization. *European Journal of Operational Research*, **243**(3) :774–788, 2015.
- [15] H. Hijazi, P. Bonami, A. Ouorou. An Outer-Inner Approximation for Separable Mixed-Integer Nonlinear Programs, *INFORMS Journal on Computing*, **26**(1) :31–44, 2014.
- [16] R. Jeroslow. There cannot be any algorithm for integer programming with quadratic constraints. *Operations Research*, **21** :221–224, 1973.
- [17] P. Kesavan, P. Barto. Generalized branch-and-cut framework for mixed-integer nonlinear optimization problems. *Computers and Chemical Engineering*, **24** :1361–1366, 2000.
- [18] J.B. Lasserre, T.P. Thanh. Convex underestimators of polynomials. *Journal of Global Optimization*, **56** :1–25, 2013.
- [19] J. Lee, S. Leyffer, Editors : *Mixed Integer Nonlinear Programming*. The IMA Volumes in Mathematics and its Applications, Vol. 154, Springer, 2012.
- [20] L. Liberti. Writing global optimization software. In : L. Liberti, N. Maculan (eds.) *Global Optimization : from Theory to Implementation*, pp. 211–262. Springer, Berlin, 2006.
- [21] L. Liberti. Reformulation and convex relaxation techniques for global optimization. *4OR : A Quarterly Journal of Operations Research*, **2** :255–258, 2004.
- [22] L. Liberti, S. Cafieri, F. Tarissan. Reformulations in mathematical programming : A computational approach. In : A. Abraham, A. Hassanien, P. Siarry (eds.) *Foundations on Computational Intelligence*, Vol. 3, Studies in Computational Intelligence, vol. 203, pp. 153–234. Springer, New York, 2009.
- [23] G. McCormick. Computability of global solutions to factorable nonconvex programs : Part I - convex underestimating problems. *Mathematical Programming*, **10** :147–175, 1976.
- [24] J. Nie. *Global Optimization of Polynomial Functions and Applications*. PhD Thesis, University of California, Berkeley, 2006.

- [25] I. Nowak. *Relaxation and Decomposition Methods for Mixed Integer Nonlinear Programming*. International Series of Numerical Mathematics, Birkhäuser Verlag (2005)
- [26] I. Nowak, S. Vigerske. LaGO - a (heuristic) branch and cut algorithm for nonconvex MINLPs. *Central European Journal of Operations Research*, **16** :127–138, 2008.
- [27] H. Ryoo, N. Sahinidis. A branch-and-reduce approach to global optimization. *Journal of Global Optimization*, **8** :107–138, 1996.
- [28] N. Sahinidis. BARON : a general purpose global optimization software package. *Journal of Global Optimization*, **8** :201–205, 1996.
- [29] E. Smith, C. Pantelides. A symbolic reformulation/spatial branch and bound algorithm for the global optimization of nonconvex MINLPs. *Computers and Chemical Engineering*, **23** :457–478, 1999.
- [30] M. Tawarmalani, N. Sahinidis. Global optimization of mixed-integer nonlinear programs : A theoretical and computational study. *Mathematical Programming*, **99** :563–591, 2004.
- [31] J. Tomlin. A suggested extension of special ordered sets to nonseparable non-convex programming problems. *Annals of Discrete Mathematics*, **11** :359–370, 1981.
- [32] S.A. Vavasis. Quadratic programming is in NP, *Information Processing Letters*, **36**(2) :73–77, 1990.

"Sustainable manufacturing"

par Olga Battaïa

1 Développement durable des activités manufacturières

"There's no alternative to sustainable development" écrivait Nidumolu et al. dans Harvard Business Review en 2009 [30]. Comment faire pour respecter l'environnement naturel tout en proposant aux futures générations un cadre de vie de qualité, durable dans le temps ? Comment répondre aux problématiques telles que le changement climatique, l'épuisement accéléré des ressources naturelles, l'augmentation de dépôts de déchets solides ou encore l'évolution du marché du travail impacté notamment par le vieillissement des populations européennes ? L'enjeu de telles problématiques a été brillamment illustré par l'artiste LADAMENROUGE sur les trottoirs stéphanois¹ (Fig. 1).



Fig. 1. Futur ou pas ?

Dans ce contexte, les activités manufacturières sont au centre de l'attention publique car leur impact sur l'environnement est loin d'être négligeable. On estime qu'au niveau mondial elles peuvent être responsables de la moitié de la consommation énergétique annuelle. Or, l'efficacité énergétique d'une machine-outil peut avoisiner les 30%, ce qui permet d'entrevoir le potentiel d'amélioration que pourraient générer des efforts de sobriété [16].

La majorité des chercheurs et des acteurs industriels s'accordent à dire qu'une amélioration des processus de fabrication et une gestion des ressources plus sobre est nécessaire. Cependant, les avis divergent dès lors qu'il s'agit de donner une définition précise des résultats attendus. De ce fait, pléthore de définitions, guides de bonnes pratiques, standards, ... sur les différents aspects de "durabilité" prolifèrent actuellement [4]. En outre, le terme de "manufacturing" est employé différemment selon le secteur d'activité ou le métier.

Afin d'éviter un débat qui dépasserait le cadre du présent article, nous nous limiterons à la définition, assez succincte et bien évidemment discutable, donnée en 2012 par le département du Commerce des États-Unis (International Trade Administration) : "Sustainable Manufacturing is the creation of manufactured products that use processes that minimize negative environmental impacts, conserve energy and natural resources, are safe for employees, communities, and consumers and are economically sound"². Ainsi on aperçoit dans cette définition les trois piliers du développement durable (Fig. 2) :

1. que j'avais l'habitude de parcourir avant de m'installer dans la Ville Rose

2. nous nous référons hélas à une définition donnée en langue anglaise, mais à notre connaissance il n'existe pas de traduction unanimement acceptée du terme "sustainable manufacturing" en français.

- On se doit de produire de la richesse et de nouveaux services tout en assurant le développement et la compétitivité (pilier économique)
- en optimisant l'utilisation des ressources naturelles et en réduisant l'impact environnemental (pilier environnemental)
- en favorisant la sécurité et le bien-être au travail, le développement social et plus généralement l'amélioration de la qualité de vie (pilier social).

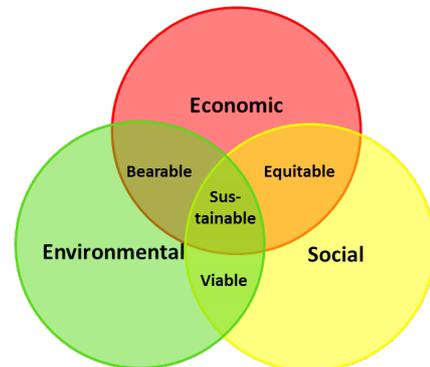


Fig. 2. Les 3 piliers du développement durable

Nous avons déjà évoqué l'impact environnemental des activités manufacturières. L'impact social non plus ne peut être négligé. Selon l'étude menée dans le cadre du projet Manufacture, environ 70% des emplois européens seraient liés directement ou indirectement aux activités manufacturières ce qui contribuerait à hauteur d'environ 22% au PIB européen [15].

Dans le cas général, les critères économiques, écologiques et sociaux ne sont pas forcément contradictoires. Cependant, l'élaboration des métriques de "durabilité" acceptées par l'ensemble des acteurs est toujours d'actualité. Trouver un consensus dans ce débat devrait notamment aider le travail réglementaire des entités législatives.

Beaucoup d'acteurs soulignent le rôle de nouvelles technologies dans la transformation des activités manufacturières. En France, cette réflexion est souvent associée à l'Usine du Futur. Certains chercheurs considèrent même que les "Technologies" doivent faire partie des piliers du développement durable [34]. Comme ce sujet mériterait plusieurs articles dédiés, nous ne l'aborderons pas dans le présent article.

Dans ce qui suit, nous proposons un aperçu des problèmes d'optimisation combinatoire étudiés dans la littérature pour les activités manufacturières conventionnelles et celles qui sont liées à l'économie circulaire.

2 Optimisation des systèmes de production durables

Un premier pas vers l'obtention de systèmes de production plus durables peut être engagé en traitant des problèmes optimisant l'utilisation des ressources requises par le processus de production (équilibrage de lignes de production, configuration de cellules de production, dimensionnement de stock tampons, ... [7]). En ayant pour objectif de

minimiser les ressources utilisées, on contribue à protéger les matières premières. Les systèmes ainsi conçus sont plus rentables donc plus durables économiquement. Dans cette même catégorie, nous pouvons recenser les études sur les systèmes de production adaptables, reconfigurables, ainsi que sur leur robustesse [32]. Les activités de maintenance elles aussi permettent de prolonger la vie des systèmes de production et, par conséquent, rendre l'utilisation des ressources plus efficace dans le temps [22, 33].

Le nombre de formulations considérant explicitement les aspects environnementaux et sociaux ne cessent pas de croître, parmi elles se trouvent des problèmes d'optimisation combinatoire classiques, enrichis par des contraintes ou objectifs spécifiques, ainsi que des problèmes nouveaux. Cependant à l'heure actuelle, les modèles d'optimisation qui considèrent les 3 piliers du développement durable dans les activités manufacturières sont plutôt rares. Souvent les problèmes traités s'appuient soit sur les piliers environnemental et économique ("green" (vert) ou clean (propre) ou "environmentally conscious" "manufacturing") [16, 21] soit sur les piliers social et économique ("socio-responsible manufacturing") [28].

En ce qui concerne la composante sociale, celle-ci apparaît de façon naturelle dans les problèmes de la planification du personnel, mais aussi dans la répartition du travail dans les systèmes de production manuels (équilibre de lignes d'assemblage, problèmes de picking). Certains problèmes comme le "job rotation" ont comme enjeu l'amélioration des conditions de travail. Les éléments les plus fréquemment mis en avant dans les systèmes de production sont l'égalité de répartition du travail, les heures travaillées et la planification des pauses, les risques ergonomiques, la fatigue et la monotonie du travail [27, 28]. Des travaux récents proposent des modèles pour intégrer les préférences des opérateurs dans la répartition du travail [23].

Quant au pilier environnemental, les indicateurs ou impacts les plus fréquemment considérés dans la littérature sont la consommation énergétique, l'empreinte carbone ou les émissions des GES. Pour pouvoir contrôler finement ces facteurs, il faut généralement se positionner au niveau tactique et/ou opérationnel de la production. Par conséquent, ils sont le plus souvent intégrés dans les problèmes de planification et d'ordonnancement des activités manufacturières [1, 2, 5, 6, 16, 29]. Les autres facteurs comme, par exemple, la consommation de l'eau ou d'autres matières premières ainsi que la production de déchets sont plus rarement pris en compte [35]. Il est important de signaler que les plans de production obtenus en essayant d'éviter les pics de consommation énergétiques peuvent avoir des conséquences négatives sur l'aspect social (travail tard le soir ou de nuit). Ainsi, les éventuelles contradictions auxquelles peuvent conduire les objectifs écologiques et sociales doivent être prises en compte de façon appropriée.

En se limitant aux activités manufacturières conventionnelles, on ne peut que partiellement traiter les problématiques actuelles du changement climatique, de l'épuisement des ressources naturelles, ou encore de l'augmentation de dépôts de déchets. Pour avoir un impact de plus grande envergure, il faut replacer le focus dans les activités générées par l'économie circulaire.

3 Economie circulaire

Le modèle d'une économie circulaire, fruit d'une réflexion scientifique et soutenu par des engagements politiques, est aujourd'hui promu comme une alternative au modèle linéaire actuel, production – consommation – abandon. Il est évident que la mise en place de l'économie circulaire est tributaire de changements profonds non seulement dans le comportement de consommateurs mais aussi dans les *business models* et les techniques de production. Néanmoins la place des systèmes dé-manufacturiers dans cette nouvelle organisation ne peut être négligée, car il s'agit d'un maillon essentiel pour limiter le gaspillage des matières premières, de l'eau et des sources d'énergie. Ces activités sont justement celles qui permettent de rendre le flux circulaire ("*close the loop*"). Elles contribuent au développement durable :

- en créant un secteur d'activité pourvoyeur d'emplois liés à la logistique inverse et aux processus dé-manufacturiers ;
- en permettant des économies d'énergie et une réduction de l'empreinte environnementale, grâce au remplacement de l'extraction des matières premières par la réutilisation des composants et le recyclage de matériaux, opérations à la fois moins énergivores et moins consommatrices de transport.
- en réduisant des espaces dévolus au stockage de déchets solides.

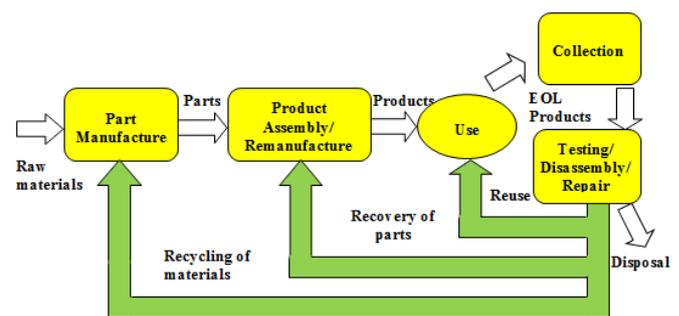


Fig.3. Flux directs et inversés

Un système dé-manufacturier est alimenté par des produits en fin de vie ou obsolètes et inclut des opérations de contrôle de qualité, de désassemblage et/ou de démantèlement. Les opérations de désassemblage et de démantèlement permettent de séparer des composants du produit initial. Dans le cas du désassemblage, cela s'effectue sans endommagement. Le processus de désassemblage joue un rôle important dans la revalorisation de produits. Il permet l'obtention de composants et/ou de matières qui peuvent être réutilisés ou recyclés avec des taux de récupération de matières rares beaucoup plus intéressants [14].

Les outils de la recherche opérationnelle sont indispensables pour comprendre et prédire le comportement des systèmes dé-manufacturiers ainsi que pour concevoir et piloter ces systèmes de façon efficace et pérenne.

Une modélisation fine et appropriée des incertitudes est un élément clé dans ce contexte. Les incertitudes encore plus importantes que dans le cas des activités conventionnelles émanent de nombreux facteurs [17, 18]. La qualité et la quantité des produits en fin de vie ne sont en général pas connues [13]. Les produits reçus peuvent être bons voire quasi-neufs, ou à l'inverse totalement défectueux. Le nombre de composants restants est lui-même incertain. En

effet, l'utilisateur peut avoir rajouté ou enlevé des composants au cours de son exploitation. Par conséquent, la qualité du produit a un impact considérable sur les activités dé-manufacturrières [12, 31]. La diversité des produits à traiter est également très importante, car souvent la rentabilité économique ne permettra pas de mettre en place des systèmes dé-manufacturriers dédiés spécifiquement à un produit.

L'incertitude se manifeste également au niveau de la demande pour des composants ou pour des sous-assemblages [20] ainsi que sur leur valeur résiduelle [11, 24, 25]. En fonction de celle-ci, le processus peut consister en un désassemblage qui soit complet ou partiel [8, 9, 10]. D'autres sources d'incertitudes associées à la fiabilité des différentes composantes du système dé-manufacturrier peuvent également intervenir.

Par ailleurs, certains produits en fin de vie peuvent contenir des matières nocives. Par conséquent, des mesures de sécurité doivent assurer un traitement sans danger pour le personnel et dans le respect de l'environnement.

Une fois à disposition, les composants ainsi obtenus doivent rejoindre les flux de contrôle de qualité, de remise à neuf, etc. pour réintégrer, plus tard, les processus de production. La synchronisation de ces différents flux pose de nouveaux défis aux méthodes de la recherche opérationnelle [3, 26].

4 Recherches futures

Nous avons exposé ici, sur un mode de vulgarisation², plusieurs axes de recherche qui nécessiteraient des contributions de la communauté ROADEF. Ils concernent à la fois l'élaboration de modèles fins et réalistes et le développement de méthodes efficaces notamment dans un cadre multicritère.

En premier lieu, les activités manufacturières dans l'économie conventionnelle sont concernées. Des modèles plus complets seraient nécessaires, considérant l'ensemble des indicateurs économiques, environnementaux et sociaux.

Une meilleure connexion de ces modèles au processus de la conception du produit/service est également fortement souhaitable. Avec le support de l'ingénierie collaborative, elle permettrait une évaluation des coûts et de l'impact environnemental/social des décisions prises par les concepteurs en temps réel.

Enfin, nombreuses sont les pistes de recherche à explorer dans le domaine de l'économie circulaire et en particulier sur les systèmes dé-manufacturriers.

Pour approfondir ses connaissances, le lecteur a un large choix parmi maintes revues de la littérature, fraîchement publiées, attestant de l'importance du sujet (cf. références).

Références

- [1] N. Absi, S. Dauzère-Pérès, S. Kedad-Sidhoum, B. Penz, C. Rapine. Lot sizing with carbon emission constraints *European Journal of Operational Research* 227 (1), 55-61, 2013.
- [2] N. Absi, S. Dauzère-Pérès, S. Kedad-Sidhoum, B. Penz, C. Rapine. The single-item green lot-sizing problem with

fixed carbon emissions. *European Journal of Operational Research* 248 (3), 849-855, 2016.

- [3] V. V. Agrawal, A. Atasu, K. van Ittersum. Remanufacturing, third-party competition, and consumers' perceived value of new products. *Management Science* 61 (1), 60-72, 2015.
- [4] M. Arena, N. Duque S. Terzi, I. Bengo, G. Azzone, M. Garetti. A state-of-the-art of industrial sustainability : definitions, tools and metrics. *International Journal of Product Lifecycle Management* 4 (1/2/3), 207-251, 2009
- [5] C. Artigues, P. Lopez. Energetic reasoning for energy-constrained scheduling with a continuous resource *Journal of Scheduling* 18 (3), 225-241, 2015.
- [6] C. Artigues, P. Lopez, A. Haït. The energy scheduling problem : Industrial case-study and constraint propagation techniques. *International Journal of Production Economics* 143 (1), 13-23, 2013.
- [7] O. Battaïa, A. Dolgui. A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics* 142, 259-277, 2013.
- [8] M.L. Bentaha, O. Battaïa, A. Dolgui. An exact solution approach for disassembly line balancing problem under uncertainty of the task processing times. *International Journal of Production Research* 53(6), 1807-1818, 2015.
- [9] M.L. Bentaha, O. Battaïa, A. Dolgui, S.J. Hu. Second order conic approximation for disassembly line design with joint probabilistic constraints. *European Journal of Operational Research* 247 (3), 957-967, 2015.
- [10] M.L. Bentaha, O. Battaïa, A. Dolgui. A Sample Average Approximation Method for Disassembly Line Balancing Problem under Uncertainty. *Computers & Operations Research* 51, 111 - 122, 2014.
- [11] M. L. Bentaha, A. Voisin, P. Marangé, O. Battaïa, A. Dolgui. Prise en compte de l'état des produits pour la planification de leur désassemblage. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, In Press, 2016.
- [12] M. Colledani, O. Battaïa. A Decision Support System to Manage the Quality of End-of-Life Products in Disassembly Systems. *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 65(1), 41-44, 2016.
- [13] V.-D. Cung, A. Jeanjean, A.-L. Quintart-Creissen. Re-commerce d'appareils électroniques usagés. *ROADEF 2013*, Saint-Etienne, Février 2013.
- [14] J.R. Duflou, G. Seliger, S. Kara, Y. Umeda, A. Ometto, B. Willems. Efficiency and feasibility of product disassembly : A case-based study. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57(2), 583-600, 2008.
- [15] M. Garetti, M. Taisch. Sustainable manufacturing : trends and research challenges. *Production Planning & Control* 23 (2-3), 83-104, 2012.
- [16] A. Giret, D. Trentesaux, V. Prabhu. Sustainability in manufacturing operations scheduling : A state of the art review. *Journal of Manufacturing Systems* 37(1), 126-140, 2015.
- [17] M. Godichaud, F. Pérès, A. Tchangani, B. lung. Sustainable management of end-of-life systems. *Production Planning & Control* 23(1), 216-236. 2012.

2. et sans expression mathématique, une première pour moi

- [18] M. Godichaud, F. Pérès, A. Tchangani. Optimising end-of-life system dismantling strategy. *International journal of production research* 50(14), 3738–3754, 2012.
- [19] E. Grosse, C. Glock, M. Jaber, P. Neumann. Incorporating human factors in order picking planning models : framework and research opportunities. *International Journal of Production Research* 53, 695–717, 2015.
- [20] M.K.K. Habibi, O. Battaïa, V.–D. Cung, A. Dolgui. Collection–disassembly problem in reverse supply chain. *International Journal of Production Economics*, In Press, doi :10.1016/j.ijpe.2016.06.025
- [21] M. A. Ilgin, S. M. Gupta, O. Battaïa. Use of MCDM techniques in environmentally conscious manufacturing and product recovery : state of the art. *Journal of Manufacturing Systems* 37, 746–758, 2015.
- [22] B. lung, E. Levrat. Advanced Maintenance Services for Promoting Sustainability. *Procedia CIRP* 22, 15-22, 2014.
- [23] F. Jaehn. Sustainable Operations. *European Journal of Operational Research* 253, 243–264, 2016.
- [24] A. Jeanjean, Y. Markabawi. Leasing : différences des modes de calcul de valeur résiduelle des automobiles et des smartphones. *ROADEF 2015*, Marseille, Février 2015.
- [25] A. Jeanjean. Le risque de valeur résiduelle dans les nouveaux modèles de distribution des téléphones mobiles. *ROADEF 2014*, Bordeaux, Février 2014.
- [26] J.-P. Kenné, P. Dejax, A. Gharbi. Production planning of a hybrid manufacturing–remanufacturing system under uncertainty within a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics* 135 (1), 81–93, 2012.
- [27] E. J. Lodree Jr., C. D. Geiger, X. Jiang. Taxonomy for integrating scheduling theory and human factors : review and research opportunities. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 39–51, 2009.
- [28] C. A. Moreno-Camacho, J. R. Montoya-Torres. Sustainability in Production Systems : A Review of Optimization Methods Studying Social Responsibility Issues in Workforce Scheduling. Chapter in : *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*, Volume 640, 115-123, 2016.
- [29] M. Nattaf, C. Artigues, P. Lopez. A hybrid exact method for a scheduling problem with a continuous resource and energy constraints. *Constraints* 20 (3), 304-324, 2015.
- [30] R. Nidumolu, C.K. Prahalad, M.R. Rangaswami. Why Sustainability Is Now the Key Driver of Innovation ? *Harvard Business Review* 87(9), 56-64, 2009.
- [31] R.J. Riggs, O. Battaïa, S.J. Hu. Disassembly line balancing under high variety of end of life states using a joint precedence graph approach. *Journal of Manufacturing Systems* 37, 638–648, 2015.
- [32] A. Rossi, E. Gurevsky, O. Battaïa, A. Dolgui. Maximizing the robustness for simple assembly lines with fixed cycle time and limited number of workstations. *Discrete Applied Mathematics* 208, 123–136, 2016.
- [33] E. Sanyé-Mengual, P. Pérez-López, S. González-García, R. Garcia Lozano, G. Feijoo, M.T. Moreira, X. Garbarrell, J. Rieradevall. Eco-Designing the Use Phase of Products in Sustainable Manufacturing : The Importance of Maintenance and Communication-to-User Strategies. *Journal of Industrial Ecology* 18 (4), 545-557, 2014.
- [34] G. Seliger, H-J. Kim, S. Kernbaum, M. Zettl. Approaches to sustainable manufacturing. *International Journal of Sustainable Manufacturing* 1 (1/2), 58–77, 2008.
- [35] C. Subaï, P. Baptiste, E. Niel. Scheduling issues for environmentally responsible manufacturing : The case of hoist scheduling in an electroplating line. *International Journal of Production Economics* 99 (1-2), 74-87, 2006.
- [36] C. S. Tang, S. Zhou. Research advances in environmentally and socially sustainable operations. *European Journal of Operational Research* 223 (3), 585–594, 2012.

Recherche et innovation à Amadeus

par Benoît Lardeux et Alexandre Salch

1 La recherche à Amadeus

1.1 Création du département de recherche à Amadeus (ORI)

Né le 21 Octobre 1987, Amadeus est devenu au fil des années un acteur principal de l'industrie du voyage dans le monde. A sa création, Amadeus était un système global de distribution, ou GDS (Global Distribution System), qui n'a pas arrêté de croître jusqu'à atteindre 1 million de réservations par jour en 1998. Avec l'avènement d'internet et pour renforcer son positionnement, la division e-commerce a été créée au milieu des années 90 et les premières applications de gestion des inventaires de réservations ont été livrées aux compagnies aériennes.

Dans le même temps Amadeus s'est lancé dans une diversification de ses activités vers des systèmes de réservation pour divers acteurs de l'industrie du voyage, tels que les hôtels et les trains, mais aussi en offrant des systèmes de gestion des passagers et des vols ou encore des solutions de *revenue management*. Afin de soutenir cette diversification, Amadeus a fait le choix de créer une entité de recherche en informatique, recherche opérationnelle et innovation qui permettait à la fois de :

- booster l'innovation et développer de nouveaux prototypes vecteurs de nouvelles sources de revenu,
- soutenir le développement de ses nouvelles applications,
- promouvoir l'excellence du travail de plus de 3000 ingénieurs alors engagés dans la recherche et le développement.

Ainsi, la division *Operations Research and Innovation* (ORI) fut créée fin 2006 par Jean-Paul Hamon, responsable de la Recherche et du Développement à Amadeus. Cette nouvelle entité aux activités transversales à l'ensemble du groupe regroupait des ingénieurs de recherche, dont la moitié était titulaire d'une thèse, sous la direction de Francois Laburthe. L'équipe s'est alors constituée avec des personnes passionnées venant de plusieurs horizons. La dimension multiculturelle est très présente avec près d'une dizaine de nationalités dans l'équipe. Dans ses premières années ORI était constitué de 4 principaux départements : 1) *Operations Research* : qui se concentrait principalement sur les activités de RO et les problèmes d'optimisation des opérations, 2) *Management Science* : qui effectuait des analyses de données et travaillait sur les problématiques de gestion du revenu des compagnies aériennes et de l'optimisation du calcul des prix, 3) *Search* : qui traitait des problèmes hautement combinatoires de construction des prix en temps réels pour le système de distribution d'Amadeus en fonction des caractéristiques de recherche des agents de voyage ou autres potentiels acheteurs en ligne et 4) *Innovation* : qui évaluait et accompagnait toutes les initiatives innovantes au sein d'Amadeus R&D.

1.2 De ORI à INR

En 2014, ORI est restructurée et change de nom pour devenir le département *Innovation and Research* (INR). Ce changement de nom a été effectué pour clarifier et élargir

la mission de la division au sein de l'entreprise. L'accent est mis sur la recherche au sens large qui couvre, en plus des mathématiques appliquées, le big data et le machine learning. La dimension innovation a été aussi consolidée avec la promotion de la culture de l'innovation dans toute l'entreprise.

Ainsi, INR est aujourd'hui composé des équipes AAR pour *Analysis And Research*, NOV pour *Innovation* et PRO pour *Prototyping*.

2 Le département *Analysis and Research* (AAR)

L'équipe intitulée *Analysis and Research* est dirigée par Rodrigo Acuna-Agost. Elle est constituée de 15 ingénieurs de recherche dont 7 d'entre eux possèdent un doctorat : Ahmed Ben Abderrahmane, Alejandro Mottini, Alexandre Salch, Alix Lheritier, Anh Quan Nguyen, Baptiste Chatrain, Benoit Lardeux, David Renaudie, Mourad Boudia, Nagesha Jayarama, Nicolas Bondoux, Rodrigo Acuna Agost, Shirish Thakkar, Thierry Delahaye et Valentin Weber. Les principaux domaines de recherche investigués par l'équipe se concentrent sur l'analyse de données et le big data, l'apprentissage et le deep learning, la recherche opérationnelle, la simulation.



Cette équipe soutient le développement des divisions en charge des produits et solutions d'Amadeus de différentes manières ; cela peut être au travers de la livraison de composants de ses produits, comme des moteurs d'optimisation par exemple. Elle met aussi à profit l'expertise technique des membres pour fournir du conseil, mettre en place des brevets ou réaliser des communications extérieures (articles dans des journaux scientifiques, présentations aux conférences...). Dans les paragraphes suivants, quelques exemples récents de projets phares conduits par AAR sont présentés.

2.1 *Schedule Recovery*

Schedule Recovery est le nom du produit d'Amadeus dédié à la gestion des opérations des compagnies aériennes. Il ne se charge pas seulement du recouvrement du schedule en cas de perturbations mais aussi du suivi en temps réel des opérations. Le challenge de la Roadef en 2009 [7]

s'intègre dans ce projet et les solutions proposées par les participants ont donné des idées qui sont aujourd'hui implémentées dans les moteurs d'optimisation.

Le premier client de ce produit est la compagnie Qantas Airlines chez laquelle il est en cours d'implémentation. Qantas est une des principales compagnies aériennes australiennes ainsi que de la zone pacifique, avec une flotte de plus de 130 avions et presque 50 millions de passagers transportés en 2015. Des chiffres qui nous font déjà penser à la taille des instances que l'on doit traiter avec les algorithmes d'optimisation. Au programme de cette implémentation : affectation des créneaux d'atterrissage, réacommodation des passagers, optimisation du planning, prise en compte des opérations de maintenances. . .

Si l'optimisation du planning opérationnel est prévue pour Juillet 2016, Qantas bénéficie depuis septembre 2015 d'un moteur d'optimisation de l'affectation des créneaux d'atterrissages aux aéroports [1]. Ce moteur d'optimisation tourne en continu et publie de nouvelles affectations sans confirmation de la part des utilisateurs. Le fait que cette optimisation soit faite sans interaction est une grande victoire pour la RO chez Amadeus, car cela montre à quel point notre client croit en notre capacité à modéliser de manière précise leur problème opérationnel, mais aussi à la qualité et à la rapidité de notre optimisation. Ce sujet a aussi donné lieu à une collaboration entre Amadeus et l'INRIA de Sophia Antipolis [2].

Pour ne pas rendre les choses trop faciles, l'équipe qui développe ce projet est dispersée dans 4 pays et sur 3 fuseaux horaires différents à Sophia Antipolis, Berlin, Bangalore et Sydney.

2.2 Opérations aux aéroports

Dans le cadre de sa stratégie de diversification, Amadeus offre aujourd'hui des solutions de gestion des aéroports qui vont de l'optimisation de l'utilisation des pistes de décollage et d'atterrissage, jusqu'à l'affectation des places de parking aux avions, en passant par l'optimisation des parcours des avions sur le tarmac. La dimension combinatoire de ces problèmes nécessite des moteurs d'optimisation très performants, que ce soit au niveau de la qualité des résultats mais aussi du temps de réponse, qui doit être de l'ordre de la seconde. L'équipe AAR a conduit la mise en place de tous ces moteurs d'optimisation en collaboration avec la division Airport IT. Ce produit d'optimisation des activités des aéroports permet aujourd'hui de gérer d'importants aéroports européens.

Ce produit a donné lieu à une collaboration entre Amadeus et le laboratoire G-SCOP qui s'est traduit par une thèse défendue par Julien Guépêt en décembre 2015. Cette thèse a permis la publication de 2 papiers [3, 4] et plus de 10 présentations à des conférences internationales.

Amadeus a d'ailleurs été récompensé par la ROADEF en novembre 2015 pour ces travaux lors du concours des Pros de la RO.

2.3 Recherche en gestion du revenu pour les compagnies aériennes

La gestion optimale de l'inventaire d'une compagnie aérienne est un problème complexe qui combine les notions d'optimisation de l'utilisation de la capacité disponible et le calcul du prix des billets d'avion. Depuis 2010, Amadeus

propose une solution de gestion du revenu pour les compagnies aériennes. Il s'agit d'un système informatique qui s'appuie sur l'analyse d'un grand nombre de données historiques (le nombre de réservations, les tarifs. . .) afin de prévoir le nombre de personnes qui seraient susceptibles d'acheter un billet à un certain niveau tarifaire. Ce qui permet in fine de définir les politiques de prix optimal.

Un système de gestion du revenu à la pointe de la technologie est nécessaire pour les compagnies aériennes qui sont soumises à une rude concurrence et à des marges réduites. Par ailleurs, le contexte professionnel du marché de l'aérien ne cesse d'évoluer. Les compagnies aériennes traditionnelles doivent faire face à une compétition accrue des compagnies aériennes à bas coûts. De plus les systèmes doivent intégrer le changement de comportement des voyageurs lors de la réservation à travers les nouveaux canaux de distribution en ligne. Ainsi plus d'une centaine d'ingénieurs participent toujours en 2016 au développement des nouvelles techniques de gestion du revenu à Amadeus. Parmi eux, une dizaine est impliquée dans les projets en collaboration avec le département de recherche. Les sujets sur lesquels nous avons récemment travaillé sont variés. Par exemple nous avons amélioré la modélisation du comportement de l'acheteur de billet, l'analyse du revenu provenant des services ancillaires (bagage supplémentaire, repas spécial à bord. . .) ou des nouvelles approches pour gérer le surplus de réservations (overbooking).

Les résultats de ces travaux de recherche ont récemment fait l'objet de communications qui ont été reconnues par l'industrie de l'aérien pour leur qualité. La société internationale de recherche opérationnelle a décerné à Amadeus en 2015 le prix de la meilleure innovation pour notre nouvelle solution de calcul dynamique des prix [6]. Il y a quelques semaines, les travaux de recherche sur l'Overbooking ont gagné le prix de la meilleure présentation lors de la conférence internationale en gestion du revenu pour les compagnies aériennes [5].

2.4 Analyse de données

De par sa position stratégique dans le monde du voyage, Amadeus génère un volume important de données qui couvre toute sorte d'activités qui va de la distribution et la réservation sur un site web ou en agence de voyages jusqu'aux activités et opérations des compagnies aériennes.

Avec l'avènement des technologies big data, il devient plus facile de traiter ce volume de données et de l'analyser. Cette analyse de données permet par exemple à notre équipe de faire du consulting auprès des compagnies aériennes et aussi de travailler avec la division consulting d'Amadeus afin de fournir des études complètes et d'éclairer nos clients sur la base d'analyses factuelles.

Cette analyse de données peut couvrir d'autres aspects. Une partie de l'équipe se concentre par exemple sur l'optimisation des clics sur les sites en ligne de réservation de voyages. En effet, nous travaillons sur une application qui permet de choisir l'encart publicitaire le plus adapté selon les recherches des acheteurs de voyages. Cette application est basée sur l'analyse des caractéristiques des voyageurs qui accèdent aux publicités en ligne. Un moteur de prédiction permet de choisir parmi un panel de publicités disponibles celle qui permet d'optimiser la probabilité que le voyageur soit intéressé par la publicité proposée. Google est le leader

incontesté dans ce domaine, mais Amadeus peut tirer profit de la richesse de ses bases de données en matière de réservation en ligne de billets d'avion pour fournir un service unique.

De gros volumes d'informations concernant les recherches effectuées, les segments de passagers ou encore l'offre du marché ont besoin d'être analysés, alors que les recommandations de publicité ciblée doivent être sélectionnées en un temps très court (de l'ordre du dixième de seconde !). C'est pourquoi nous travaillons sur les techniques les plus avancées d'apprentissage automatique et de big data dans le cadre de ce projet pour proposer les recommandations les plus adaptées aux voyageurs. Ce type d'approche est en train d'être testé sur un robot qui pourra proposer des offres d'inspiration aux clients sur la base de leurs goûts et affinités. La photo ci-dessous montre notre robot sur lequel nous réalisons les tests, et qui pourra un jour faire son apparition dans les agences de voyages.



- [7] M. Palpant, M. Boudia, C.-A. Robelin, S. Gabteni, F. Laburthe. Challenge ROADEF 2009 : gestion de perturbations dans le domaine aérien.

3 Conclusion

Tout ceci ne représente qu'une partie des activités du département de recherche et innovation à Amadeus. Si vous êtes intéressés par en apprendre plus sur l'actualité de l'innovation à Amadeus, vous pouvez vous rendre sur le blog du département : <http://blogamadeus.com/category/innovation/>

Références

- [1] A. Salch, B. Chatrain, V. Weber. Integrating CDM in a schedule recovery tool : theory and practice. AGIFORS OPS Conference, Panama, 2014.
- [2] N. Nisse, A. Salch, V. Weber. Recovery of disrupted airline operations. <http://hal.inria.fr/hal-01116487>, 2015.
- [3] J. Guépet, O. Briant, J.-P. Gayon, R. Acuna-Agost. The aircraft ground routing problem : Analysis of industry punctuality indicators in a sustainable perspective. European Journal of Operational Research, vol 248, 827–839, 2016.
- [4] J. Guépet, R. Acuna-Agost, O. Briant, J.-P. Gayon. Exact and heuristic approaches to the airport stand allocation problem. European Journal of Operational Research, vol 246, 597–608, 2015.
- [5] T. Fiig, R. Hjorth, N. Bondoux, J. Larsen. Airline seat allocation with overbooking for unrestricted and fare family fare-structures. AGIFORS Revenue Management, Francfort, 2016.
- [6] T. Fiig. Dynamic pricing – The next revolution in RM ? AGIFORS symposium, Washington DC, 2015.



Vie du GdR RO

par **Alain Quilliot**

1 Le GDR CNRS 3002 : un point d'information

Pour le GDR CNRS 3002 Recherche Opérationnelle, 2015 a bien sûr constitué une année très importante, puisque elle l'a vu obtenir pour 5 ans sa reconduction par le CNRS. Il s'agit à présent de transformer l'essai et de repartir pour ces cinq années avec à la fois des perspectives de continuité par rapport à une activité à présent largement reconnue, et en même temps des perspectives d'évolution et de renouvellement.

Les perspectives de continuité sont celles bien sûr des trois pôles (Modèles Fondamentaux, Problèmes Opérationnels, Décision/Modélisation/Prévision) qui structurent actuellement le GDR et des différents groupes de travail que ces pôles portent. Elles sont aussi celles des interactions que le GDR entretient avec la ROADEF, et qui s'expriment au travers, à la fois de l'utilisation commune qui est faite de ce bulletin, et de la participation du GDR à l'organisation du colloque annuel ROADEF. L'édition ROADEF 2016, qui s'est tenue à Compiègne, a été l'occasion de constater cette convergence, et le succès des tutoriels ou semi-plénières organisées par le GDR, avec la participation d'intervenants aussi divers que L.M. Rousseau (Contraintes), P. De Lara (Stochastique), J. Carlier (Ordonnancement), M. Habib (Graphes), J. Lang (Décision) et D. Trystram (RO et Architectures Distribuées). Ces interventions ont mis en exergue le souci du GDR de se projeter vers l'extérieur et de faire, le plus souvent possible, la jonction avec les disciplines connexes. La continuité est enfin celle des Ecoles Thématiques du GDR R.O, initiées dans un premier temps en 2015 à Metz (portée par GOTHA, AGAPE et POC ; organisateur : I. Kacem) et qui se sont renouvelées en 2016 à Grenoble du 04 au 06 Juillet (portée par COS : Stochastique, PM et POOPT/ROSA ; organisateur : J.M. Vincent) puis en 2017 à Nice, sous l'impulsion du groupe RO/Contraintes et en partenariat avec la Communauté IA/Contraintes (organisateur : M.J. Huguet, A. Malapert).

L'orientation adoptée pour l'organisation de ces deux écoles thématiques permet de mettre le doigt sur les évolutions à venir. Celles-ci concerneront en effet pour partie le périmètre du GDR et les interactions que celui-ci a vocation à entretenir avec les autres communautés scientifiques et notamment avec les autres GDR et sociétés savantes. La montée en force du thème Big Data et la création du GDR MADICS, nous amènent ainsi à réfléchir sur le rôle des données dans notre discipline : c'est dans ce sens que le GDR s'efforce d'inscrire sa Journée Industrielle 2016 dans le projet d'Innovative Days, programmées le 13 octobre 2016 par le CNRS autour du Big Data. De la même façon, la réactivation par le CNRS d'un pré-GDR Algorithmique et I.A

nous amène à regarder comment les communautés se situant à la frontière de la R.O et de l'I.A (Contraintes, Jeux, Décision Collaborative,...) peuvent interagir et mutualiser leurs efforts. Globalement, notre GDR R.O doit s'assurer qu'il couvre bien les thèmes relevant de sa compétence et qu'il épouse bien les besoins émergents tels qu'ils peuvent se faire jour aux plans tant scientifique qu'industriel. C'est aussi le sens du renforcement en cours au sein du GDR des activités liées à la prise en compte de l'Incertain et des phénomènes stochastiques.

Une autre évolution pourrait à terme concerner l'International : il serait certainement approprié que le GDR R.O se préoccupe d'accompagner le mouvement amorcé par la ROADEF relativement à l'organisation de certains grands congrès internationaux et étudie la façon d'aider à la structuration de réseaux de Recherche en R.O au niveau Européens, sous la forme par exemple d'un GDRI du CNRS. Ceci fera certainement partie des réflexions à venir au niveau du GDR.

2 Présentation du groupe : Programmation Mathématique : Optimisation Non Linéaire en Variables Continues et Discrètes

L'objectif de ce groupe est de rassembler la communauté en Optimisation Non Linéaire avec variables continues ou discrètes ; diffuser les efforts de la communauté RO sur les solveurs logiciels pour la Programmation Mathématique répondant aux besoins des industriels. Un autre but de ce groupe de travail est d'être une interface entre la ROADEF, MODE (SMAI) et le GDR MOA.

Plusieurs laboratoires sont impliqués (liste non exhaustive) : LIMOS, N7 (Toulouse), ENAC (Toulouse), LAAS (Toulouse), Institut Maths Toulouse, LIX (Paris Saclay), ENSTA (Paris Saclay), ENPC - CERMICS (Paris Est), LJLL (Paris VI), CEDRIC (Evry), Math. Perpignan, U. Metz, INSA Rennes, Lab. J. Kuntzmann (Grenoble), XLIM (U. Limoges), LMAB + INRIA Bordeaux, INRIA Rocquencourt, INSA Rouen, Institut de Math. de Bourgogne et INRIA McTAO Dijon. Partenaires industriels : EDF, Orange, Artelys, Innovation 24

Nous avons approximativement 75 participants.

Site web : <http://projects.laas.fr/GTPM/>

Thématiques affichées dans le projet :

a. *Optimisation non convexe globale*

Modèles et algorithmes pour l'optimisation non linéaire sous contraintes de problèmes comportant de nombreux optima locaux. Ces modèles issus souvent de problèmes de classification ou d'approximation dans des domaines tels que l'apprentissage statistique, le traitement d'images ou la conception optimale de formes, sont des défis numériques pour les optimiseurs, à la fois par leurs dimensions et par les non convexités induites. Les méthodes visées concernent l'arithmétique d'intervalles, les fonctions dc, les algorithmes sans dérivées, les techniques de Branch-and-Bound ou de descente heuristique qui mènent parfois vers des logiciels dits solveurs, permettant d'automatiser la résolution de problèmes d'optimisation mathématique.

b. *Optimisation stochastique*

Vu le spectre très large des applications potentielles et, en cohérence avec d'autres actions prévues dans le GDR autour de la thématique de la Modélisation Stochastique, le cas des modèles d'*Optimisation Stochastique* a pris de plus en plus d'importance ces dernières années. Ce domaine concerne la modélisation multi-étapes avec recours, l'optimisation robuste, la Programmation Dynamique et les liens avec la Commande Optimale.

c. *Optimisation non linéaire en variables entières et mixtes*

Ce domaine qui fait converger les communautés en optimisation combinatoire et continue focalise l'attention de nombreux groupes de recherche en France et dans le monde avec de très nombreuses applications potentielles. Les techniques passent par des reformulations convexes (RLT, Lift-and-Project), des approches par décomposition (Benders) ou polynomiales qui permettent d'enrichir les approches par coupes et séparation, voire d'explorer des outils propres à l'analyse convexe comme la Programmation Semi-Définie Positive.

d. *Décomposition et éclatement d'opérateurs*

S'appuyant fortement sur l'optimisation convexe et la dualité, ces approches permettent de décomposer des problèmes séparables et non linéaires en exploitant la structure des modèles. De nombreuses applications industrielles apparaissent en Economie, mais aussi dans les réseaux de transport et de communication, en traitement d'images et en optimisation stochastique.

Activités 2014-2016 :

- Réunion de lancement à ENSEEIHT Toulouse les 18 et 19 juin 2014, organisée par S. Cafieri et F. Messine. Conférenciers invités : Jean-Pierre Dussault (U. Sherbrooke), Charles Audet (GERAD), Didier Henrion (LAAS)
- Réunion à l'IMB Dijon les 11 et 12 juin 2015, organisée par A. Barbara, A. Cabot, J.-B. Caillaud et A. Jourani. Conférenciers invités : E.H. Bergou (Toulouse), P. Carpentier (Palaiseau), J. Koko (Clermont), M. Letournel (Orsay), F. Messine (Toulouse), T. Migot (Rennes), S. Naldi (Toulouse), G. Nardi (Orléans), Q. Van Nguyen (Paris), R. Omhenni (Toulouse)
- Réunion à INSA Rennes les 13 et 14 juin 2016, organisée par T. Migot, M. Haddou, M. Camar-Eddine, O. Ley et S. Jonin. Conférenciers invités : A. Lambert (CNAM/CEDRIC), J. Darlay (LOCALSOLVER), A. Mucherino (IRISA Rennes), A. Marendet et A. Goldsztejn (Université de Nantes), E. Joannopoulos (IRMAR-INSA et Université de Sherbrooke), J.-P. Dussault (Université de Sherbrooke), J. OMER (INSA-IRMAR), J.-C. Billaut (Université de Tours)

Animateurs :

Sonia Cafieri (ENAC)
Philippe Mahey (Université Blaise Pascal, LIMOS)
Frédéric Messine (ENSEEIHT)

3 Présentation du Groupe de Travail : ROSa : RO et Santé

Ce groupe de travail, créé en 2014, a pour objectif de réunir les chercheurs travaillant sur des problématiques de la RO et d'aide à la décision appliquées au milieu de la santé. Cette thématique émergente en France n'est pas seulement source de problèmes originaux mais nécessite aussi des manières spécifiques et techniques pour les résoudre.

Motivation : La santé en général est un large domaine d'application pour la recherche opérationnelle. En France, depuis quelques années, la réorganisation du milieu de la santé est devenue un sujet sensible à cause principalement du coût total qu'engendre le bon fonctionnement d'une structure de soin. Ces réorganisations passent aussi bien par la mutualisation des ressources, par leur redimensionnement, par l'intégration de nouvelles règles de gestion, ou encore par l'externalisation de certains services vers des entreprises privées. Néanmoins, ces choix stratégiques sont complexes en raison du caractère incertain des activités de l'hôpital, celui-ci étant fortement lié à l'aspect imprévisible du parcours du patient (date de départ et d'arrivée, pathologie, etc.). Ainsi, la RO peut contribuer à la recherche de bons choix stratégiques pour l'optimisation de l'utilisation des ressources, et donc par ce biais diminuer les coûts.

Objectifs : ROSa a pour volonté d'identifier des problématiques d'aide à la décision et d'optimisation, qu'il s'agisse d'un niveau stratégique, tactique ou opérationnel, ainsi que de travailler sur les méthodes de résolution. Ces méthodes doivent tenir compte de la particularité du milieu de la santé comme le fait qu'il s'agisse de produire des services à des personnes et non des biens, la présence de composantes aléatoires, etc.

Un objectif secondaire est de réunir la communauté dans le but d'échanger sur les modes de travail dans le milieu de la santé ainsi que le montage de projets, leur valorisation, les appels sur lesquels se positionner, qui sont bien spécifiques dans ce milieu. De plus, plusieurs établissements de santé, offrent actuellement des postes de conseillers en organisation ; souvent des anciens consultants qui peuvent devenir des interlocuteurs pérennes pour des actions de recherche à moyen et long terme. De par leur formation, ces personnes sont formées à des méthodes de génie industriel comme le "Lean management" mais n'ont pas le réflexe de venir vers la recherche opérationnelle. Le développement d'enseignement de la RO vers des décideurs est aussi un axe de réflexion porté en commun par le groupe.

Bilan : Actuellement, 75 personnes sont inscrites à la liste de diffusion rosa@services.cnrs.fr. Plusieurs manifestations ont eu lieu :

- 4ème réunion du groupe à Nantes le 9 juin 2016, 18 participants, 2 conférenciers invités (Juan G. Villegas de l'université d'Antoquia et Fabien Tricoire de l'université de Viennes), 5 présentations au total.
- 3ème réunion du groupe à l'AP-HP (Paris) le 20 novembre 2015, 32 participants, 2 conférenciers invités (Pr. Alessandro Agnetis de l'université de Sienne et l'Ingénieur en Organisation Lucie Gaillardot-Roussel de l'AP-HP), 6 présentations au total.
- 2ème réunion du groupe à St-Etienne les 3 et 4

juin 2015, couplée à la journée sur l'Efficienc e des Systèmes de Soins (JESS 2015), 35 participants, 2 conférenciers invités (Dr. Clément Turbelin de l'INSERM/UPMC de l'Institut Pierre-Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique et Dr Vincent Augusto du Centre Ingénierie et Santé des Mines Saint-Étienne), 5 présentations au total.

- 1ère réunion du groupe à Tours le 13 octobre 2014, 48 participants, 2 conférenciers invités (Pr. Erik Demeulemeester de l'université KU Leuven et Pr Federico Della Croce de l'université Politecnico Di Torino), 6 présentations au total.

Programme prévisionnel : L'objectif du groupe étant de réunir les chercheurs autour de cette thématique RO en santé, une des actions principales est de continuer l'organisation de réunions du groupe de travail, se tenant sur une journée avec une fréquence visée de deux par an. Ces journées se déroulent en deux phases. Une première phase est dédiée à des présentations de conférenciers expérimentés sur des études ou expériences dans ce domaine ou encore de tutoriels sur des techniques pointues de la RO. La deuxième phase prend la forme d'un ou plusieurs petits groupes qui travaillent sur un sujet précis apporté par un doctorant ou un enseignant chercheur et qui peuvent déboucher sur des questions ouvertes pour donner lieu à un débat et échange d'idées sur le problème présenté. Certaines de ces journées peuvent être organisées conjointement avec le groupe GISEH du GdR MACS ou d'autres groupes du GdR RO. Enfin des rapprochements/liens avec le groupe ORAHS d'EURO sont également envisagés.

Animateurs :

Yannick Kergosien (Polytech Tours, LI / équipe ROOT)

Thierry Garaix (École des Mines de Saint-Étienne, LIMOS)

ROADEF/EURO Challenge 2016

Inventory Routing Problem for Gas Distribution !

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

Le vainqueur du challenge ROADEF/EURO 2016 est Ahmed Kheiri de l'Université de Cardiff (UK). Il remporte un prix de 7500 € (catégorie senior) qui récompense les résultats qu'il obtient pour résoudre un problème proposé par l'entreprise Air Liquide. Le sujet portait sur le problème d'optimisation de tournées de véhicules avec gestion des stocks dit "Inventory Routing" pour la distribution de gaz industriels.



Vainqueur du challenge 2016 (cat. senior)

Ahmed Kheiri a ainsi remporté 10 000 € pour avoir proposé toutes les meilleures solutions de la phase finale et toutes les meilleures solutions de la phase de qualification. Une grande première dans l'histoire du challenge !

Dans la catégorie senior, le deuxième prix (3000 €) est remporté par Simon Crevals, Mieke Defraeye, Otto Carpentier et Kay Van Wynendaele de la société Conundra (Belgique) et le troisième prix (2000 €) par Zhouxing Su, Zhuo Wang et Zhipeng Lü (Huazhong University of Science and Technology, China).

Le prix junior (2500 €) a été remporté par Tamara Jovanovic de l'École des Mines d'Alès, France.



Vainqueur du challenge 2016 (cat. junior)

Quarante et une équipes provenant de seize pays ont participé à cette compétition. Les résultats finaux ont été annoncés lors de la conférence EURO 2016 en juillet à Poznan. Deux sessions spéciales ont été consacrées au challenge lors de cette conférence.

Petite chronologie du déroulement de cette édition du challenge 2016 : la première phase était une phase de sprint qui a permis la mise à disposition de résultats sur des lots d'instances à l'ensemble des équipes participantes avant la clôture de la phase de qualification. Elle a été remportée par Nicolas Catusse de l'INP Grenoble, qui remporte un prix de 1000 €. Les résultats de la phase de qualification ont été annoncés lors du congrès ROADEF 2016 à Compiègne. Douze équipes se sont qualifiées. Le vainqueur de cette phase est Ahmed Kheiri de l'université de Cardiff qui remporte le prix de 2500 €.

Comme pour l'édition précédente, un prix scientifique soutenu par la ROADEF et EURO est également lancé. Ce prix sera décerné sur la base d'une part d'un arbitrage sur papier et d'autre part sur la qualité des solutions obtenues sur les instances cachées de la phase finale. Seules les finalistes de la compétition peuvent candidater. L'évaluation sera menée par un jury présidé par Roberto Wolfler Calvo. Toutes les modalités de participation sont fournies sur le site web du challenge. La date limite de soumission est fixée au 31 octobre 2016. Le prix sera décerné lors la conférence ROADEF 2017 à Metz. Un numéro (ou section) spécial(e) dédié(e) au challenge dans la revue internationale Transportation Science sera également lancé en juillet 2016.

Tous les résultats et scores sont accessibles sur le site du challenge en suivant le lien :

<http://challenge.roadef.org/2016/en> (rubrique Award).

L'équipe challenge ROADEF : Eric Bourreau (LIRMM), Vincent Jost (G-SCOP), Safia Kedad-Sidhoum (LIP6) et David Savourey (HEUDIASYC).

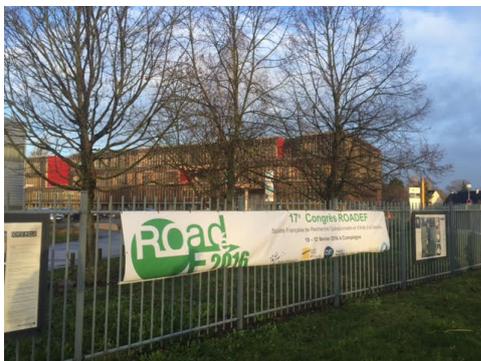
L'équipe challenge pour Air Liquide : Jean André, Rodrigue Fokouop, Michele Quattrone.

Bilan du congrès ROADEF 2016 à Compiègne

par **Aziz Moukrim**

La 17ème édition du congrès annuel de la ROADEF a été organisée du 10 au 12 février 2016 par l'équipe Réseau & Optimisation du laboratoire Heudiasyc (UMR CNRS 7253, Heuristiques et Diagnostic des Systèmes Complexes) et du laboratoire d'excellence MS2T (Maîtrise des Systèmes de Systèmes Technologiques) de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC).

L'organisation a été mise en place avec le soutien des services supports de notre établissement et l'implication de l'ensemble de nos doctorants et de nombreux élèves ingénieurs.



Le congrès ROADEF à Compiègne

Pendant ces trois jours, tous les thèmes de la Recherche Opérationnelle et de l'Aide à la Décision ont été couverts par les conférenciers (optimisation combinatoire, logistique, simulation à événements discrets, etc.). Ce 17ème congrès a proposé un programme scientifique très riche dont onze conférences données par des spécialistes de renommée internationale : cinq plénières (Christian Artigues, Philippe Baptiste, Jacques Desrosiers, Martine Labbé, et Laurent Perron) et six tutoriels (Jacques Carlier, Michel De Lara, Michel Habib, Jérôme Lang, Louis-Martin Rousseau, et Denis Trystram) auxquelles se sont ajoutés une présentation des dispositifs mis en place pour les appels à projets européens H2020, le Prix Jeune Chercheur, l'Assemblée Générale de la ROADEF et la participation active du GDR-RO. Les vidéos des interventions filmées sont toujours accessibles sur le site de la conférence : <http://roadef2016.utc.fr/videos/>

Le comité scientifique a fait un travail remarquable avec 273 articles acceptés. Il y a eu 445 inscrits dont pas moins de 150 doctorants. Nous avons planifié 19 sessions invitées, ainsi que trois tracks. Une session spécifique « Pros de la RO », regroupant les 4 finalistes du prix du meilleur projet de Recherche Opérationnelle d'entreprise, a aussi été organisée. Enfin, de nombreux sponsors institutionnels et industriels nous ont soutenus dans notre entreprise (Heudiasyc, CNRS, UTC, Labex MS2T, Région Picardie, EURODECISION, PROLOGIA, OPRED, AIR LIQUIDE, COSYTEC, ENGIE, HEURISIS, IBM, QUINTIQ, INNOVATION24, AMADEUS, DECISIONBRAIN, A-SIS).



La remise du prix jeune chercheur

Compte rendu de la 35ème JFRO

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

La 35ème édition des journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle s'est déroulée le jeudi 23 juin dernier, dans les locaux du Conservatoire National des Arts et Métiers. Cette journée avait pour thème "Programmation quadratique". Elle a accueilli une quarantaine de participants. Cinq orateurs avaient accepté de faire un exposé. Ils ont présenté leurs travaux portant sur des algorithmes de résolution de problèmes consistant à optimiser une fonction quadratique dans un espace défini par des fonctions quadratiques, et où les variables peuvent être entières et/ou continues. Plusieurs difficultés entrent en jeu dans la résolution de cette classe de problèmes : la non-convexité des fonctions considérées, l'intégrité d'une partie des variables, ou bien encore la taille du problème considéré.

La journée a commencé par un tutoriel, donné par Sourour Elloumi (ENSIIE-SAMOVAR), présentant de nombreuses méthodes de résolutions de problèmes binaires basées sur la reformulation du problème initial en un problème équivalent linéaire ou quadratique convexe. Après avoir défini plusieurs familles de reformulations, elle a montré comment déterminer, pour chaque famille, celle qui est "optimale" du point de vue de la borne obtenue par relaxation continue. Elle a ensuite montré comment étendre ces approches de résolution aux problèmes plus généraux qui possèdent des variables entières et/ou continues. Le premier exposé de l'après-midi a été donné par Jean-Charles Gilbert (INRIA - Paris). Il a présenté l'utilisation de l'algorithme du lagrangien augmenté pour traiter un problème d'optimisation quadratique convexe et non réalisable (contraintes incompatibles) ou non borné. Après avoir analysé le comportement de l'algorithme pour résoudre cette classe de problèmes, il a montré que, lorsque le problème quadratique n'est pas réalisable, l'algorithme du Lagrangien augmenté trouve la solution du problème réalisable le plus "proche" (dans un certain sens), avec une convergence linéaire globale vers une telle solution. Il a également donné des résultats numériques permettant de comparer l'efficacité de l'approche par rapport à d'autres codes d'activation de contraintes et de points intérieurs. Le deuxième exposé donné par Wim Van Ackooij (EDF) a présenté les modifications à apporter à la méthode

de plans coupants pour optimiser une fonction convexe et non-différentiable, dans un espace combinatoire qui correspond à la base de la méthode de décomposition de Benders. Il a également présenté une analyse de la convergence de cette méthode sous des hypothèses faibles ainsi que des résultats expérimentaux sur des problèmes quadratiques. Le troisième exposé a été donné par Emiliano Traversi (LIPN - Université Paris 13), où il a présenté une étude sur le comportement de l'algorithme de Dantzing-Wolfe appliqué aux problèmes quadratiques en variables binaires. Pour cela, il a présenté plusieurs décompositions qu'il a comparées d'un point de vue théorique et expérimental, notamment sur le problème du sac à dos quadratique avec une contrainte de cardinalité. Enfin, le dernier exposé de la journée a été donné par Sylvain Mouret (Artelys) où il a d'abord présenté la modélisation d'un problème de portefeuille d'actions par un programme quadratique. Il a ensuite présenté les résultats obtenus en résolvant ce modèle avec le solveur non-linéaire Knitro.

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



L. Alfandari (ROADEF), A. Jeanjean (ROADEF), R. Acuna-Agost (AMADEUS), F. Gardi (ROADEF)

Retrouvez toutes les informations sur le concours, les photos et vidéos de la soirée sur <http://www.roadef.org/lesprosdelaroc>

La soirée des Pros de la RO du 27 novembre 2015

par **Bureau ROADEF**

Le vendredi 27 novembre 2015 la ROADEF a organisé sa soirée-concours des "Pros de la RO", récompensant le meilleur projet de RO d'entreprise. Elle a remis le prix "Pros de la RO" à : AMADEUS pour son projet "Optimisation des opérations au sol des aéroports", qui a recueilli le plus grand nombre de votes du public. Félicitations au gagnant !

La soirée qui s'est tenue au CNAM a rencontré un beau succès avec plus de 200 inscrits et des échos très positifs sur les présentations des 4 finalistes :

- **AMADEUS** : Optimisation des opérations au sol des aéroports
- **DECISION BRAIN** : Optimisation multi-vaisseaux des opérations de chargement/déchargement du Port de Shenzhen
- **GEFCO-EURODECISION** : Refonte du plan de transport messagerie de GEFCO
- **ORANGE** : Optimisation du déploiement de la Fibre "To The Home"

Le jury de présélection était composé de C. Le Pape (Schneider Electric), D. De Almeida (SNCF), A. Nguyen (Renault), L. Alfandari (ESSEC, Bureau ROADEF), C. Artigues (LAAS Toulouse), J.C. Billaut (Univ. De Tours), C. Dhaenens (PolyTech' Lille), D. Feillet (EMSE). Les 10 projets ayant candidaté sont, par ordre alphabétique : Amadeus, A-sis, Biosolver, Decision Brain, EDF, GEFCO-Eurodecision, Nereo, Orange, Place des Leads-ECP, React-4C.

L'énigme de l'été 2016 : "Contrepétrie"

par **Denis Cornaz (Lamsade, Université Paris-Dauphine)**

En français, une contrepétrie consiste à permuter deux syllabes d'une phrase pour en changer totalement le sens, dans le top-five des contrepétries, on trouve, pêle-mêle, "Nul n'est jamais assez fort pour ce calcul", "Les mathématiciens aiment faire converger leurs sommes", ou encore "Les physiciens voient le monde conique". Dans cette énigme, 100 forçats sont condamnés à mort mais une permutation effectuée par un gardien complice peut changer totalement cette issue tragique en un happy-end d'évasion massive.

La prison contient 100 geôles ayant chacune une clé et un détenu. Les clés sont rangées dans un meuble compartimenté en 100 casiers numérotés contenant chacun une clé qui identifie la geôle qu'elle ouvre. Le numéro du casier ne correspond pas nécessairement au numéro de la geôle. Pour des raisons qu'il serait trop long d'expliquer, il suffit pour la réussite de l'évasion de tous les prisonniers, de mettre au point avec leur gardien complice une stratégie permettant que chacun d'eux puisse repérer dans quel casier se trouve la clé de son cachot. Sans entrer dans les détails techniques du fonctionnement de la prison, retenons que les 101 (détenus et gardien) pourront mettre ensemble au point une stratégie avant que le gardien ne puisse avoir connaissance de la répartition des clés mais qu'ensuite tout se déroulera de manière indépendante dans l'ordre suivant, le gardien prendra connaissance totale de la répartition des clés et aura l'occasion de permuter uniquement deux clés entre elles, ensuite les malfrats auront accès, séparément, au meuble, et chacun pourra prendre connaissance du contenu de 50 casiers. Si, après le passage du dernier bagnard, tous savent exactement quel casier contient la clé de leur cellule, l'évasion est réussie, si un seul d'entre eux se trompe, c'est la mort certaine. Pourrez-vous déchiffrer cette contrepétrie énigmatique ?

Solution de l'énigme précédente : "Intersections" (D. Porumbel)

Supposons que la voiture ne revient jamais à A_1 . Comme

le réseau est fini, cela indique que la voiture doit parcourir un cycle qui ne contient pas A_1 . Soit $A_i \xrightarrow{g} A_{i+1}$ le premier mouvement appartenant à ce cycle. Cette notation indique le fait que la voiture a tourné à gauche au point A_i . Si on remplace "gauche" par "droite", la preuve est analogue.

Le cycle tout entier doit avoir la forme $A_i \xrightarrow{g} A_{i+1} \xrightarrow{d}$

$A_{i+2} \dots \xrightarrow{g} A_j \xrightarrow{d} A_i$. Comme $A_i \xrightarrow{g} A_{i+1}$ est le premier mouvement répété deux fois, il faut qu'il existe un mouvement $A_{i-1} \xrightarrow{d} A_i$ qui ne fait pas partie du cycle est qui permet au véhicule de parcourir $A_i \xrightarrow{g} A_{i+1}$ pour la première fois. On obtient une contradiction : les mouvements $A_{i-1} \xrightarrow{d} A_i$ et $A_j \xrightarrow{d} A_i$ ne peuvent pas tous les deux conduire à A_{i+1} .

Dernières nouvelles...

La ROADEF lance son concours pour le prix de l'étudiant en Master 2 !

Tout étudiant inscrit en 2015-2016 dans un établissement français (université ou école d'ingénieur), ou effectuant son stage ou PFE en France (laboratoire ou entreprise) peut déposer sa candidature. La date limite de dépôt des dossiers est fixée au 20 octobre 2016. Pour avoir tous les détails des conditions d'inscription à ce nouveau concours, rendez-vous sur le site de la ROADEF.



L'impact factor pour l'année 2015 de notre journal 4OR est publié, il est de **1.371**, et était de 1.000 en 2014. Le journal est désormais classé au 36^e rang sur les 82 journaux dans le domaine Operations Research and Management Science.

Retrouvez la Newsletter d'IFORS du mois de juin sur :

<http://ifors.org/web/june-2016-newsletter>

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



OPTIMIZATION SOLUTIONS



OPTIMIZATION FOR THE INTELLIGENT ENTERPRISE



Innovation24



QUINTIQ

ROADEF : LE BULLETIN

Bulletin de la société française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision
association de loi 1901

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

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

Production du Bulletin : A. Robert.

Ce numéro a été tiré à **400** exemplaires. Les bulletins sont disponibles sur le site de la ROADEF.