



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



Numéro spécial dédié à Bernard Roy (1934-2017)

Sommaire

Le mot du bureau (A. Moukrim)	1
Bernard Roy (D. Bouyssou et D. Vanderpooten)	2
A la mémoire de Bernard Roy (R. Bisdorff)	9
Bernard Roy : un pionnier de l'ordonnancement et de l'optimisation combinatoire (J. Carlier, P. Chrétienne, M.-C. Portmann)	11
Présentation du LAMSADE (A. Tsoukiàs)	15
Les recherches du LAMSADE en Aide Multicritère à la Décision : un bref aperçu (D. Bouyssou, B. Mayag, M. Öztürk)	17
Vie du GDR RO	19
Bilan du congrès ROADEF 2018 à Lorient (M. Sevaux et A. Rossi)	21
ROADEF/EURO Challenge (E. Bourreau, S. Kedad- Sidhoum, E. Pinson et D. Savourey)	21
ROADEF 2019 au Havre (E. Sanlaville et A. Yassine)	22
L'énigme de l'automne 2018 : "Au sommet" (J.-Y. Lucas)	23

Le mot du bureau

par **Aziz Moukrim**

Chers amis membres de la ROADEF,

Cette édition est entièrement consacrée à Bernard ROY. Notre association a perdu en octobre 2017 son Président d'Honneur, un des pères fondateurs de la communauté Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision. Depuis, les hommages nombreux se sont succédés à différentes occasions (dernier congrès de la ROADEF, journée scientifique organisée par le

LAMSADE, Pros de la RO, etc.). Ce numéro spécial réunit des contributions qui témoignent d'un parcours exceptionnel.

Pour l'occasion, nous republions l'article écrit par Denis Bouyssou et Daniel Vanderpooten en 2011, publié par Springer dans *Profiles in Operations Research : Pioneers and Innovators*. Les auteurs reviennent sur les facettes multiples d'un visionnaire avec une synthèse des avancées majeures dues à Bernard Roy. Puis Raymond Bisdorff met l'accent sur le problème de décision qui est à l'origine de la discipline de l'Aide à la Décision fondée par Bernard Roy, problème du meilleur choix en présence de critères multiples incommensurables. Jacques Carlier, Philippe Chrétienne et Marie-Claude Portmann présentent Bernard Roy comme pionnier de l'ordonnancement et de l'optimisation combinatoire. Ils traitent de ses travaux académiques majeurs autour de la méthode des potentiels et ses applications. Alexis Tsoukiàs revient sur l'héritage de Bernard Roy en tant que fondateur du LAMSADE (Laboratoire d'Analyse et Modélisation des Systèmes d'Aide à la Décision). Les recherches au sein du LAMSADE en aide multicritère et Aide à la Décision sont ensuite décrites par Denis Bouyssou, Brice Mayag et Meltem Öztürk.

A la clôture de cette édition, nous venons d'apprendre la triste nouvelle du décès de Michel Balinski. La communauté de la ROADEF vient de perdre un de ses éminents chercheurs. Nous lui rendrons hommage lors de notre prochain congrès et reviendrons dans le prochain numéro sur ses contributions en optimisation combinatoire et tout particulièrement sur les systèmes équitables de vote et de représentation.

Vous trouverez également les rubriques habituelles. Alain Quilliot revient sur la vie du GDR RO avec une présentation des groupes GOTHa (Ordonnancement Théorique et Appliqué) et ATOM (Applications et Théorie de l'optimisation Multi-objectif). Marc Sevaux et André Rossi présentent le bilan du congrès ROADEF qui a eu lieu à Lorient du 21 au 23 février 2018. L'équipe du Challenge présente les étapes de l'édition ROADEF/EURO 2018-2019 portée par Saint-Gobain (problème de découpe optimale). Le numéro se termine par une nouvelle énigme proposée par Jean-Yves Lucas.

Toute l'équipe du bureau vous donne rendez-vous à la conférence du Havre du 18 au 21 février 2019.

Éditeur	Aziz MOUKRIM, Université de Technologie de Compiègne
Siège social	Institut Henri Poincaré, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05
Publication	Anna ROBERT, TOTAL
Site web	http://www.roadef.org
Langues officielles	Français et anglais

Bernard Roy

par Denis Bouyssou et Daniel Vanderpooten
(LAMSADE)



During the 1950s and early 1960s, as the ideas, methods, and applications of operations research (OR) spread around the world, each country tended to adapt OR to fit its professional, academic, and cultural environments. Often, there were a few dedicated persons who led the way and became recognized as the country's OR pioneers. In the case of France, such a person was Bernard Roy.

FIGURE 1 – Young Bernard Roy

After a first career as a consultant, during which he made major breakthroughs in graph theory and project scheduling, he started a second career as an academic interested in multiple criteria decision making (MCDM). Among his many achievements, he is the developer of the activity-on-node project scheduling technique and of the famous ELECTRE methods for resolving decision problems with multiple criteria. Through his research, teaching, consulting, and service to the community, he has been one of the major promoters of OR in France.

Bernard served as vice president (1974–1976) and president (1976–1978) of the Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique (AFGET, the French OR society at that time). Bernard was president of The Federation of European OR Societies (EURO) in 1985–1986, and was awarded the 1992 EURO gold medal, the highest distinction granted by EURO.

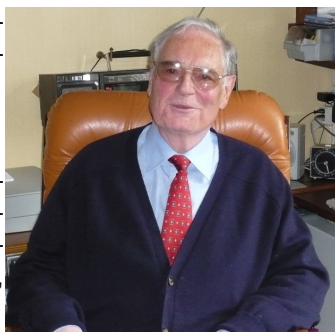


FIGURE 2 – Bernard Roy

1 Family and childhood

Bernard was born on March 15, 1934 in Moulins-sur-Allier, a medium-sized town in the center of France. He is the only child of René Roy (born 1906) and Jeanne Chérasse (born 1913). Both parents completed their studies with the brevet (a diploma given to pupils at the end of the ninth grade). Bernard's maternal grandfather was a railway station manager; his paternal grandfather built and repaired millwheels. Bernard was the first member of his family to pursue an advanced education. René started his career as a bank teller. In 1934,

he became an insurance agent at the Compagnie du Nord. With the help of Jeanne, he was responsible for a portfolio of clients. René took part in World War II (WWII) and, after the defeat of France, he was sent to Germany as a war prisoner. He escaped in 1943. After the war, he kept close contacts with several fellow prisoners by inviting them to yearly family gatherings. One of the ex-prisoners was the father of Bernard's future wife, Françoise. Bernard first met her during one of these gatherings.

During WWII, Moulins-sur-Allier was in the occupied part of France, but located quite close to the demarcation line. At that time, the communication between the two parts of France was highly problematic. Both Bernard's mother and aunt would cross the demarcation line to transmit mail between the two zones (sometimes even helping people to cross the line). His aunt was arrested by the Germans, but she was soon liberated following a bureaucratic error. German soldiers, realizing the error, paid frequent visits to the family's home; these visits made a very strong impression on the young Bernard. The war years were very bleak. Fortunately, Jeanne had relatives living in the countryside, so the family had access to food products that were cruelly missing, and Bernard could enjoy peaceful holidays.

In 1940, at the age of 6, Bernard started his formal education at a local school. Soon after, he began experiencing vision problems. Due to the war, it was not easy to have access to an ophthalmologist, but his parents did manage, as best as they could. The first one consulted advised that these problems were somatic. Because things were not getting any better, several other famous specialists were consulted making various diagnoses, such as a compression of the optical nerves. It was not until 1955 that a correct diagnosis was established; Bernard was suffering from a very rare type of retina problem (atypical retinitis pigmentosa). As a result, Bernard gradually lost sight, while keeping a limited peripheral vision. Reading became more and more difficult. Writing also became problematic; after some time, hardly any one could decipher his letters. Bernard kept writing, however, by using the new Reynolds ballpoint pens that just arrived in France. He did so during elementary school (5 years in France) and through his second year of secondary school. Year after year, Jeanne helped him by reading his notes and books.

Bernard started secondary school in 1945 (consisting of 4 years of collège and 3 years of lycée). He soon abandoned writing, taking notes on a mechanical typewriter during classes. He managed to take exams using the typewriter through the two baccalauréats, which meant, at that time, the end of secondary school. Bernard's interest in mathematics was not immediate, but grew during this period. Over time, Bernard had his typewriter customized with some Greek letters added to the keyboard. He started studying English as his vision deteriorated. His father assembled for him a basic bilingual dictionary that used very large letters that Bernard could read. However, his mastering of the language was uncertain and, during the first part of his career, he published mostly in French. (He continues to favor publishing in French.) Bernard passed his second baccalauréat (in the mathématiques élémentaires section) in 1952, with the highest possible mention. At that time, even with his declining peripheral vision, Bernard could walk by himself; he rode his bicycle until the age of

22, with severe falls from time to time. But, it was obvious that his handicap would prevent him from occupying certain professions.

2 Higher studies : the road to OR

Bernard wanted to be an engineer (he had built a radio while he was in secondary school). The traditional way to become an engineer in France is not through universities, but through the distinct system of Grandes Écoles in which students are selected on the basis of a competitive exam that could only be taken after 2 years of Classes Préparatoires.

Bernard went to Paris for his first year of Classes Préparatoires at the Lycée Chaptal. His results were so high that he was admitted for the second year to one of the most prestigious Classes Préparatoires at the Lycée Louis-le-Grand, usually the first step to the École Polytechnique or the École Normale Supérieure.



FIGURE 3 – Bernard (left) and Patrice (right) on holidays (1969)

In class, Bernard was using his relatively quiet typewriter to take notes. But, his physics teacher thought that the noise was intolerable and did not allow him to use the typewriter. Thus, Bernard, not being able to take notes and rather shaken by this decision, left the Lycée Louis-Le-Grand and the Classes Préparatoires system in October 1953. Thus ended his dream of entering the École Normale Supérieure. He immediately decided to enroll in the Université de Paris and study for a degree in mathematics. At that time, the Licence de Mathématiques meant obtaining three certificates : this usually took 3 years (the Licence had to be preceded by a general mathematics certificate that Bernard had passed while he was at the Lycée Chaptal). In the academic year 1953–1954, Bernard completed two of the three certificates (calculus and probability). He was taught by some great mathematicians who became famous : Laurent Schwartz (founder of the theory of distributions and a member of the Bourbaki group), Jacques-Louis Lions (one of the major promoters of applied mathematics in France, a president of the International Mathematical Union, and father of the future Fields medal laureate Pierre-Louis Lions), Gustave Choquet (developer of the theory of capacities), and Robert Fortet (founder of the most important French research group in the theory of probability).

Bernard got even with the École Normale Supérieure—he completed his calculus certificate with the highest possible mention, ending up tied with a student from that school.

During the 1953–1954 academic year at Université de Paris, Bernard met Patrice Bertier, a fellow student in mathematics. Patrice suffered poliomyelitis during his youth and was using a wheel chair. He and Bernard became great friends. They spent the year studying together and helping each other. Patrice completed his Licence in June 1954 having passed the three certificates. His plan was to take courses at the Institut d'Études Politiques (IEP) in the next academic year.

IEP was a relatively special Grande École, mainly oriented toward economics and political science ; it was the usual first step to the highest positions in the French civil service. At that time, the teaching of economics and political science had little to do with mathematical economics and, for someone holding a degree in mathematics, enrolling in IEP was extremely uncommon. But, Patrice was attracted to economics. He persuaded Bernard to join him in this adventure. The only problem was that Bernard had not completed his Licence : he had to obtain his third certificate. Bernard then decided to study for his missing certificate during summer. He finally obtained this certificate (in rational mechanics) in September 1954, thus completing his 3 years of Licence in only 1 year.

Both Bernard and Patrice joined IEP in October 1954. As this was really unusual—mathematics students at IEP—they also enrolled in the Institut de Statistique de l'Université de Paris (ISUP), an interfaculty department that granted diplomas in statistics and probability. IEP was located at rue Saint-Guillaume, west of the Latin Quarter, while ISUP was located at rue Pierre-et-Marie-Curie, near the Jardin du Luxembourg, south of the Latin Quarter.

During the years 1954 and 1955, people walking on the Boulevard Saint-Michel would often observe a strange event : Bernard, half blind, pushing the wheel chair of Patrice, as they went back and forth between ISUP and IEP. At ISUP, Bernard had several remarkable teachers : Georges Darmois, Georges Morlat, Dickran Indjoudjian, Germain Kreweras, René Roy. ISUP was then one of the rare places in France in which applied probability and statistics were taught to highly trained mathematics students. Here, Bernard discovered mathematical statistics and econometrics ; applied statistics was not forgotten, although all computations had to be done on electric non-programmable calculators.

At IEP he attended the courses of Alfred Sauvy (an economist and demographer who, in 1952, first used the expression Tiers Monde [Third World]), Jean Fourastié (an economist who coined the expression Les Trente Glorieuses [The Glorious Thirty]—the 30 years from 1945 to 1975), Paul Delouvrier (an economist and urban planner), and André Siegfried (a sociologist specialized in electoral studies). This unique combination of mathematics and economics aroused the interest of Bernard for the application of mathematics to the real world.

The years 1954–1955 were exciting times for Bernard. Several people—Georges-Théodule Guilbaud, Germain Kreweras, Jean Abadie, Jean Ville, Pierre Bouzitat, Marc Barbut, Michel Rosensthiel, Jean Mothes, Claude Berge—began giving unofficial lectures and seminars on OR ; OR was not part of any course in France. Bernard especially remembers the lectures of Guilbaud. They were attended by huge crowds in the Amphithéâtre Hermite of the prestigious Institut Henri Poincaré. Bernard had found his way to applying mathematics in the real world. He wanted to do OR. The emerging French OR community was beginning to organize itself and, in 1956, the Société Française de Recherche Opérationnelle (SOFRO) was established. [In 1964, SOFRO became AFIRO (Association Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle), after a merger with a society of computer scientists ; in 1968, it became AFCET (Association Française pour

la Cybernétique Économique et Technique), after a merger with a society of cyberneticians; and in 1998, AFCET split apart with the French OR society becoming ROADEF (Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision) (Roy 2006)].

These were years of intense activity for Bernard. Besides the courses at IEP and ISUP, he also obtained additional certificates in mathematics (mathematical methods of physics, algebra, and number theory). He completed his master's degree at ISUP in 1957 with his first research in OR: a master's thesis on the newsboy problem presented as the baker's problem (problème du boulanger) (Roy 1957). He decided to start a Ph.D. on the same subject, but soon abandoned it in favor of graph theory.

In July 1956, Robert Fortet managed to obtain positions as junior researchers for both Bernard and Patrice at the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS, the national research agency, created in 1939, to promote fundamental research in France). The jobs paid little but offered immense freedom. As CNRS did not have an office at that time, Bernard and Patrice were also recruited as interns at Électricité de France (EDF, the newly nationalized electricity company) under the supervision of Marcel Boiteux, who was in charge of EDF's Service des Études Économiques Générales (he later became CEO of EDF). Bernard completed his master's thesis for ISUP during this period; he benefited from the advice of Marcel Boiteux on how to write a paper. At that time, EDF had no computing facilities. Small linear programming (LP) models were used to plan production between thermal and hydraulic plants. Bernard and Patrice were still interns at that time and, since the problems involved strategic elements, they did not have full access to the data and results; their main role was to devise the general structure of the LP models. These problems, although small sized (around 50 variables), were still too large to be efficiently solved by hand. Marcel Boiteux and Pierre Massé (the vice-CEO of EDF) were sending these problems by ordinary mail to George Dantzig at the RAND Corporation in Santa Monica, California, with the results also returned by mail. At that time, processing time did not reduce to computation time.

3 Consultant at SEMA



FIGURE 4 – Françoise and Bernard (1988)

support the young couple. Bernard left CNRS when he was recruited by a newly created OR consulting company, the Société d'Études Pratiques de Recherche Opérationnelle (SEPRO). Meanwhile, the Société de Mathématiques Appliquées (SMA) was created as a joint venture between the

Bernard married Françoise Jolivet in July 1957. They had six children, Sylvie (1958y), Laurence (1961), Isabelle (1964), Solange (1966), Patrice (1968), and Philippe (1970), and nine grandchildren. The meager salary from the CNRS was not adequate to

Banque de Paris et des Pays-Bas (more commonly known as Paribas) and an independent consulting company led by Marcel Loichot. The aim of SMA was to be a consulting company that would promote the use of management science (MS) in French companies. Jacques Lesourne was appointed as CEO. Bernard left SEPRO to join SMA as a consultant in October 1957, together with Patrice Bertier. SMA quickly became SEMA (Société d'Économie et de Mathématiques Appliquées). After having created several subsidiaries in Europe, SEMA became SEMA (Metra International).

SEMA started with around 10 employees and almost no contracts. Bernard's first task, with Patrice, was to translate into French several chapters of the OR text written by Churchman et al. (1957). They also put the final touches to the book by Lesourne (1958), one of the first OR books written and published in French.

Contracts began to arrive in 1958 and Bernard started to work on applied OR problems, mainly from the private sector. He worked on a variety of problems that involved many ideas and techniques: probability and queueing theory (reducing the waiting time at a ferry), data analysis (choosing the name of a new brand of cigarettes), transportation studies (developing a forecasting model for transportation planning), cutting stock (designing cardboard boxes), location (choosing sites for plants), and finance (optimizing cash management). Many of these applications were later published in METRA, the future academic journal sponsored by SEMA. Bernard's most important works were concerned with project scheduling and related graph theory problems.

SEMA was growing steadily during this time. In 1962, it acquired a Control Data computer (CDC 6600) for which several LP and integer linear programming (ILP) codes were developed that enabled larger problems to be solved. Before that, all computations were performed by a bureau de calcul employing many persons working on electric calculators.

In between contracts, Bernard worked on his Ph.D. dissertation in graph theory and its application to project scheduling (together with a minor dissertation on abstract algebra). He received his Ph.D. in 1961 (dissertation on "Cheminement et connexité dans les graphes: Application aux problèmes d'ordonnancement" [Roy 1961]) from the Université de Paris, under the supervision of Claude Berge [the author of one of the first books on graph theory (Berge 1958)]. That same year, Bernard was offered a position at the Université de Paris in mathematics. OR, at that time, was not part of the mathematics curriculum and the teaching of mathematics was slanted toward pure mathematics—this period was highly influenced by the Bourbaki group. As accepting the position meant returning to pure mathematics, Bernard declined the offer. Taking advantage of SEMA's policy that encouraged its consultants to teach, Bernard did become involved in teaching OR courses at the Centre Inter-armées de Recherche Opérationnelle (a permanent education program in OR for French officers) and, with Claude Berge, taught seminars on graph theory and combinatorial problems.

In 1962, Jacques Lesourne created within SEMA a scientific group called Direction Scientifique, with the objective of

helping consultants in applying new scientific and computational techniques. Bernard joined this group as a consultant of consultants. He became its director in 1964. For many years, this high-powered, multidisciplinary group was the site of intense activity ; its members included Raphaël Benayoun, Patrice Bertier, Éric Jacquet-Lagrèze, Hubert Le Boulanger, Benjamin Matalon, Jean de Montgolfier, Hervé Raynaud, and Gilbert Sussmann. At the same time, SEMA launched a quarterly journal called METRA to popularize the new techniques it promoted (they included OR techniques, but also covered every aspect of MS). Bernard was appointed its editor-in-chief and remained so until the journal ceased publication in 1977. METRA published papers written by SEMA consultants and from its European subsidiaries in four languages (French, Spanish, Italian, and English). It is remarkable that the editorial policy of METRA was to promote the techniques developed at SEMA. Its methodological advances could appear in the journal after observing a publication lag of about 2 years which SEMA required to protect its competitive advantage.

Although edited by a commercial company, METRA had a standard academic way to process papers and had a scientific editorial board that included academics (most notably Stafford Beer and Paul Gillis). In those times, few French libraries had subscriptions to Management Science, Journal of the Operational Research Society, or Operations Research. Thus, METRA, together with RIRO [Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, the newly created journal of AFIRO that would later become RAIRO (Revue d'Automatique, d'Informatique et de Recherche Opérationnelle)] played an important part in the diffusion of OR techniques in France.

Consulting, therefore, greatly influenced Bernard's view of OR techniques and applications. Most often, the lack of appropriate software, the paucity or poor quality of data, the softness of some constraints, and the presence of multiple conflicting objectives made the quest for an optimal solution illusory. A good solution that could not be proved optimal was often a major breakthrough in practice. These real-world concerns greatly influenced Bernard's approach to his future research.

4 Project scheduling and graph theory

One of the most famous contributions of Bernard is in the field of project scheduling. In 1958, when working at SEMA, he was faced with the problem of scheduling the construction of new buildings for the headquarters of a large company in Paris. Managing this project, involving several hundreds of tasks and more than one thousand constraints, required a specific methodology. At this occasion, Bernard developed a method called MPM (Méthode des Potentiels Metra). MPM was based on what is now known as the activity-on-node (AON) formulation (Roy 1959a, 1962). While its theoretical foundations were being established (in terms of existence and optimality of schedules), this method was applied successfully to several other scheduling problems (production of crankshafts at Mavilor Motors, design of an appropriate cycle for the new Tracoba house-building process). These applications involved potential constraints (i.e., constraint of the form $t_j \leq t_i + a_{ij}$, where t_j is the starting time of task j and a_{ij} is the minimum time between the start of tasks i and j)

and more difficult constraints such as disjunctive or cumulative constraints (disjunctive constraints impose that two tasks do not occur simultaneously, and cumulative constraints require that simultaneous tasks do not consume more than a given amount of resources ; this typology of constraints was developed by Bernard). MPM was one of the first computer-based software systems for project scheduling : CONCORD (CONception et Coordination de l'ORDonnancement) (Roy and Dibon 1966). [The AON approach was proposed independently in the U.S. under the name Precedence Diagramming Method by Fondahl (1961).] The existence of a large number of difficult constraints, in the context of scheduling the equipment of the steamship liner France (the largest in the world in 1960), eventually led to the development of another technique, description segmentée, designed to quickly spot incompatible constraints in a system of linear inequalities (Roy 1963 ; Roy and Simonnard 1961).

Simultaneously and independently, methods like PERT or CPM, based on an activity-on-arc (AOA) formulation were developed in the U.S. in the late 1950s (at DuPont de Nemours, RAND Corporation, and the U.S. Navy for the deployment of the POLARIS missile). It is now widely acknowledged that the AON formulation is superior to the AOA formulation, since it is more systematic, without requiring modeling tricks such as dummy arcs, and its ability to readily handle changes or additions to constraints.

Bernard also obtained results on more theoretical aspects of graph theory, related, for example, to optimal paths, connectivity, transitivity, and chromaticity (Roy 1958, 1959b, 1967, 1969b). As discussed by Hansen and de Werra (2002), some of these pioneering results, obtained over 50 years ago, are still the basis of currently published results.

Also well known is the so-called Roy–Warshall's algorithm that computes the transitive closure of a digraph (Roy 1959b ; Warshall 1962). This algorithm was discovered independently by Bernard in 1959 and Stephen Warshall in 1962. In the subfield of network flows, the algorithm to determine a minimum cost flow by successive shortest paths is known as Busacker and Gowen's (1961) algorithm in the U.S. and as Roy's algorithm in Europe. Bernard independently developed this approach in the early 1960s and presented it at several conferences (Roy 1970).

Bernard is the author of a remarkable two-volume, 1300-page textbook on graph theory (Roy 1969c, 1970). Even if it is now outdated on some points, it includes an original treatment on many topics that should be of interest to anyone in this field. Bernard organized two summer schools on graph theory and discrete mathematics. The first one, co-organized with Frank Harary, took place in 1966 in Italy with more than 100 participants. The second one was in Versailles, France, in 1974. Both schools gathered most of the major names in the field of graph theory and combinatorial optimization. The proceedings of the second school were published in Roy (1975b). With Patrice Bertier, Bernard was also among the pioneers who developed and formalized branch and bound procedures in the mid-1960s (Bertier and Roy 1965 ; Roy 1969a).

5 ELECTRE and Multiple Criteria Decision Aiding (MCDA)

Bernard's research on multiple criteria decision problems was motivated by real-world problems encountered by SEMA clients. This led to the development of the first ELECTRE method, ELECTRE I (Roy 1968), for solving such problems. A media planning problem led to the development of ELECTRE II (Roy and Bertier 1973). At that time (mid-1960s), Bernard was unaware of the parallel developments in the U.S. by Howard Raiffa, Ralph Keeney, and many others. Bernard accepted the invitation of George Dantzig to organize two sessions on MCDM for the 1970 Mathematical Programming Symposium to be held in The Hague (Roy 1971). These sessions were among the first of their kind to be given at such conferences. During this time, Bernard, working early in the mornings, completed his two-volume exposition on graph theory and its applications (Roy 1969c, 1970).

6 ELECTRE methods : an exposition

ELECTRE (Élimination et Choix TRaduisant la Réalité) methods were first developed in the mid-1960s to answer real-world problems brought to Bernard by SEMA consultants, such as the selection of research projects or of investment opportunities. SEMA had developed a technique, called MAR-SAN (Méthode d'Analyse et de Recherche pour la Sélection des Activités Nouvelles), that was designed to help firms in selecting new activities. To do so, activities were evaluated on a series of 48 dimensions (the word criterion was not used then). They included quantitative as well as qualitative dimensions. Qualitative dimensions were translated on a numeric scale more or less arbitrarily. A weighted sum of all these numbers was computed to measure the attractiveness of these new activities.

It soon became clear that the use of a weighted sum allowed compensation effects that were not desirable : small advantages on several dimensions could compensate for major weaknesses on some others, which was not felt to be desirable. Moreover, the transformation of qualitative dimensions into numbers was playing an important part in the final result.

Bernard devised a method that would deal both with qualitative dimensions without the need for transforming them into quantitative dimensions and that would not tolerate compensation effects that were felt undesirable. This was the birth of ELECTRE I (Benayoun et al. 1966 ; Roy 1968). Basically, in ELECTRE I, alternatives are compared in pairs using the following reasoning : Alternative a will be declared at least as good as alternative b if (1) the proposition is supported by a sufficient majority of dimensions (concordance condition), and (2) among the dimensions opposing the proposition, there is none on which the opposition is too strong (non-discordance condition).

Such an at-least-as-good-as relation (soon called an outranking relation) can be built on the basis of purely ordinal considerations. The non-discordance condition prevents undesirable compensation effects from occurring. The application of the concordance condition leads to assigning weights

to each dimension. To decide if a majority of dimensions is sufficiently important, the sum of the weights is compared to a threshold called the concordance threshold (note that these weights are quite different from the weights used in a weighted sum ; they are never multiplied with scores and are, therefore, independent from the scale used to measure scores). Similarly, the strength of the opposition of dimensions is computed using a veto threshold.

A specific feature of this relation is that it does not have to be transitive (even in its asymmetric part, because of Condorcet-like effects) or complete (some alternatives may remain incomparable). Therefore, deriving a prescription on this basis is not an easy task and calls for the application of specific techniques, called exploitation techniques. They differ on the type of recommendation that is looked for. ELECTRE I has been designed in a choice problem formulation—it aims at recommending a subset of alternatives (as small as possible) that is likely to contain the best alternatives. Technically, viewing the outranking relation on the set of alternatives as a graph, Bernard suggested using the kernel (an independent and dominating subset) of this graph. ELECTRE II (Roy and Bertier 1973) is a variant of ELECTRE I that is designed to rank order alternatives. It uses two outranking relations instead of one. The ranking is not necessarily complete : it preserves incomparability between alternatives that appear difficult to compare. ELECTRE III (Roy 1978) is a far-reaching generalization of ELECTRE II that uses a fuzzy outranking relation instead of two crisp ones. Furthermore, it refines the preference modeling on each dimension with the introduction of thresholds preventing small differences between scores from being interpreted as a definite advantage. Such thresholds were introduced in a new version of ELECTRE I, called ELECTRE IS. ELECTRE IV (Roy and Hugonnard 1982) is a variant of ELECTRE III designed to deal with situations in which weights are difficult to elicit, given the diversity of opinions. ELECTRE TRI (Roy and Bouyssou 1993) is designed to deal with a sorting problem formulation in which each alternative is assigned to a category pre-defined by norms which, for example, separate good and bad credit files.

All these methods were developed to deal with specific real-world problems. ELECTRE methods have been applied to a large variety of problems in many countries (Figueira et al. 2005 ; Roy 1991 ; Roy and Bouyssou 1993).

7 MCDA : an original perspective on OR

Bernard's concept of OR was influenced by two major themes : the starting of his career as a consultant and his later work in MCDM. Their synergistic interaction led him to develop a decision-aiding methodology that is original and rather non-standard in the OR profession (Roy 1975a, 1977, 1985, 1990, 1993). He noticed that the application of OR models and methods were characterized by the adherence to three main assumptions :

1. The quest for rationality implies the use of a unique criterion that should be optimized.
2. Qualitative information and ambiguous data should be avoided as much as possible.
3. Science aims at describing a reality that is mainly independent from the observer. Reference to this outside reality

is central to the validation of a scientific model.

Bernard soon became rather skeptical about these three assumptions and proposed a decision-aiding methodology that would dispense with them (Roy 1981).

Indeed, Bernard quickly acknowledged the fact that in many real-world problems, several actors are involved. These several stakeholders have different opinions. Quite often, their opinions are not always completely structured. Also, there may be no real decision maker. Moreover, what is feasible or what is not feasible is often fuzzy (Roy 1988). This undermines the first assumption and calls for the use of multiple criteria. This does not mean that optimizing is useless, but simply that optimality within a model does not guarantee an acceptable solution, let alone an optimal one, in the real world.

Real-world situations abound with qualitative information. Contrary to the second assumption, information is often uncertain, imprecise, and ill-determined. Trying, by all possible means, to convert all that is qualitative into quantitative information is a difficult task and often leads to a result that is seldom meaningful. Spending time to obtain information of better quality is often an inappropriate use of resources and may lead to instrumental bias (recall the drunkard looking for his keys under a street lamp without really knowing where he lost them). In all real-world problems, irreducible uncertainty, imprecision, and inaccurate determination will remain (Roy 1989). Hence, we should reconcile ourselves that we must deal with the available qualitative information, using techniques that allow robust conclusions to result (Roy 1998).

Decision aiding inevitably means working with preferences. When facing a complex problem, it is rare to have the actor(s)'s preferences clearly stated and completely well structured (Roy and Vincke 1984). The analyst must question the actor(s) and, thus, contributes to the shaping of the preferences, as well as describing them. A clear violation of the third assumption. This learning process, which is often a creation process, is an inevitable part of applying OR models (Roy 1987).

Over the years, Bernard has proposed a complete decision-aiding methodology that does not rely on the above three assumptions (Roy 1985; Roy and Bouyssou 1993). This explains why Bernard prefers to speak of MCDA instead of MCDM.

Bernard's most recent research deals with robustness in decision aiding. In many decision contexts, model parameters are often defined approximately due to uncertainty, imprecision, or ill-determination (Roy 1998). Rather than looking for optimal solutions, it is then more appropriate to look for robust solutions that are resisting to vague approximations and areas of ignorance, that is, which behave well for all, or at least most, plausible values of the parameters. Such a perspective, often well received by practitioners, gives rise to many challenging theoretical questions. Bernard's approach to robustness is discussed in Roy (2010).

8 Professorship



FIGURE 5 – (L. to R.) Daniel Vanderpooten, Bernard Roy, Denis Bouyssou (this experimental university was created in 1968 and occupied the

former NATO headquarters in Paris). In 1971, he was appointed associate professor in mathematics (later joining the computer science department). The following year, he was made full professor. He kept his position at SEMA until 1974, progressively reducing his involvement, as SEMA reduced its OR activities; he remained associated with SEMA as a scientific advisor until 1979. One of Bernard's early academic duties was to reshape the MS curriculum within the management program. In 1974, Bernard created a research group called LAMSADE (Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision) which became affiliated with CNRS in 1976. LAMSADE was one of the few research groups in France oriented toward applied OR. Over the years, as LAMSADE kept growing, it expanded its base of interest to include research topics in computer science.

Bernard made sure that the Dauphine OR curriculum included a doctoral program, *Méthodes Scientifiques de Gestion*, and thus, through the years, he began his supervision of over 50 doctoral students (both authors of this text are his former doctoral students). His research at LAMSADE became more and more oriented toward MCDM, or rather MCDA.

Although Bernard devoted much energy to the development of LAMSADE and served as its director until 1999, he also undertook several important responsibilities within Université Paris Dauphine, including the directorship of a doctoral school. In addition, in 1980, Bernard became scientific advisor of RATP (Régie Autonome des Transports Parisiens; the company that operates all public transports in the Paris region).

Bernard is the author of more than 80 papers in refereed journals and nearly 50 papers in contributed volumes. A selected list of Bernard's publications is available from LAMSADE (2009).

Bernard retired in 2001 with the title of professor emeritus. A Festschrift honoring him was published on the occasion of his retirement (Bouyssou et al. 2002). He remains quite engaged in his scientific and consulting activities.

9 Honors and awards

Bernard has received six honorary doctoral degrees (Vrije Universiteit Brussels, Belgium, 1978; Université de Liège, Belgium, 1978; Université de Fribourg, Switzerland, 1982; Poznan University of Technology, Poland, 1992; Université Laval, Canada, 1998; Technical University of Crete, Greece, 2002). He received the 1992 EURO gold medal, the highest distinction granted by EURO. He holds the gold medal from the MCDM International Society, as well as the Hermès de la Recherche Prix from the Université Laval, Québec, Canada.

Bernard served as vice-president (1974–1976) and president (1976–1978) of AFCET. He was the president of EURO (1985–1986), after having served on the executive committee for several years. In 1975, he founded one of the most active and long-lasting working groups in OR, the EURO working group on MCDA.

10 The EURO Working Group : Multiple Criteria Decision Aiding

EURO is a federation of the national European OR societies. The first EURO conference was held in Brussels in 1975. Bernard created the EURO working group on multiple criteria decision aiding (MCDA). The group, which usually meets twice a year, aims to promote original research on MCDA in Europe. The meetings of the group are not conferences. They are designed to foster discussions and exchanges. The group has around 350 members, from about 30 countries, and meetings usually gather between 50 and 100 persons. The success of the group is attested by the fact that most texts on MCDM now speak of a European school of MCDA (Roy and Vanderpooten 1996). The 69th meeting took place in Brussels, Belgium, April 2–3, 2009. More details on this working group can be found at <http://www.inescc.pt/ewgmcda/index.html> (viewed December 24, 2009).

REFERENCES

- Benayoun R, Roy B, Sussmann G (1966) ELECTRE : Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Note de travail 49, SEMA (Metra International), Direction Scientifique)
- Berge C (1958) *Théorie des Graphes et ses Applications*. Dunod, Paris
- Bertier P, Roy B (1965) Une procédure de résolution pour une classe de problèmes pouvant avoir un caractère combinatoire. ICC Bull 4 :19–28
- Bouyssou D, Jacquet-Lagrèze É, Perny P, Slowinski R, Vanderpooten D, Vincke Ph (2002) (eds) *Aiding decisions with multiple criteria : essays in honor of Bernard Roy*. Kluwer, Boston, MA
- Busacker R, Gowen P (1961) A procedure for determining a family of minimal-cost network flow patterns. Operations Research Office Technical Report 15, J. Hopkins University, Baltimore, MD
- Churchman C, Ackoff R, Arnoff E (1957) *Introduction to operations research*. Wiley, New York, NY. French translation : *Éléments de recherche opérationnelle*. Dunod, Paris, (1961)
- Figueira J, Mousseau V, Roy B (2005) ELECTRE methods. In : Figueira J, Greco S, Ehrgott M (eds) *Multiple criteria decision analysis : state of the art surveys*. Springer, Boston, MA, pp 133–162
- Fondahl J (1961) A non-computer approach to the critical path method for the construction industry. Technical report 9, Department of Civil Engineering, Stanford University
- Hansen P, de Werra D (2002) Connectivity, transitivity and chromaticity : the pioneering work of Bernard Roy in graph theory. In : Bouyssou D, Jacquet-Lagrèze E, Perny P, Slowinski R, Vanderpooten D, Vincke Ph. (eds) *Aiding decisions with multiple criteria : essays in honor of Bernard Roy*. Kluwer, Boston, MA, pp 23–42
- LAMSADE (2009) http://www.lamsade.dauphine.fr/~roy/roy_publications.htm. Accessed 14 Sept, 2009
- Lesourne J (1958) *Techniques économiques et gestion industrielle*, Dunod, Paris
- Roy B (1957) Recherche d'un programme d'approvisionnement ou de production. *Revue de Recherche Opérationnelle* 1(4) : 172–184
- Roy B (1958) Sur quelques propriétés des graphes fortement connexes. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 247 :399–401
- Roy B (1959a). Contribution de la théorie des graphes à l'étude de certains problèmes linéaires. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 248 :2437–2439
- Roy B (1959b). Transitivité et connexité. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* 249(6) :216–218
- Roy B (1961) *Cheminement et connexité dans les graphes—Application aux problèmes d'ordonnancement*. Doctorat d'État de Sciences Mathématiques, Faculté des Sciences de Paris.
- Roy B (1962) Graphes et ordonnancement. *Revue Française de Recherche Opérationnelle* (25/4e trimestre) :323–333
- Roy, B (1963) Programmation mathématique et description segmentée. *Revue METRA* 2(4) :523–535
- Roy B (1967) Nombre chromatique et plus longs chemins d'un graphe. *RIRO* 1(5) :129–132
- Roy B (1968) Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *RIRO* 2(8) :57–75
- Roy B (1969a) Procédure d'exploration par séparation et évaluation (PSEP et PSES). *RIRO* 3(V-1) :61–90
- Roy B (1969b). Graphe partiel s-connexe extremum. *Revue Roumaine de Mathématiques Pures et Appliquées* 14(9) :1355–1368
- Roy B (1969c). Algèbre moderne et théorie des graphes orientées vers les sciences économiques et sociales : Volume 1 : Notions et résultats fondamentaux. Dunod, Paris.
- Roy B (1970) Algèbre moderne et théorie des graphes orientées vers les sciences économiques et sociales : Volume 2 : Applications et problèmes spécifiques, Dunod, Paris
- Roy B (1971) Problems and methods with multiple objective functions, *Math Program* 1(2) :239–266
- Roy B (1975a). Vers une méthodologie générale d'aide à la décision. *Revue METRA* 14(3) :459–497
- Roy B (ed.) (1975b). *Combinatorial programming : methods and applications*. D. Reidel, Dordrecht
- Roy B (1977) Partial preference analysis and decision-aid : the fuzzy outranking relation concept. In : Bell D, Keeney R, Raiffa H (eds) *Conflicting objectives in decisions*. Wiley, New York, NY, pp 40–75
- Roy B. (1978) ELECTRE III : Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en

présence de critères multiples. Cahiers du Centre d'études de Recherche Opérationnelle 20(1) :3–24

Roy B (1981) The optimisation problem formulation : Criticism and overstepping. J Oper Res Soc 32(6) :427–436

Roy B (1985) Méthodologie multicritère d'aide 'a la décision. Economica, Paris. (English translation : Multicriteria methodology for decision analysis. Kluwer Academic Publishers, 1996. Polish and Spanish translations are also available)

Roy B (1987) Meaning and validity of interactive procedures as tools for decision making. Eur J Oper Res 31(3) :297–303

Roy B (1988) Des critères multiples en Recherche Opérationnelle : Pourquoi ? In : Rand G (ed.) Operational research '87. Elsevier, Amsterdam, pp 829–842

Roy B (1989) Main sources of inaccurate determination, uncertainty and imprecision in decision models. Math Comput Model 12(10/11) :1245–1254

Roy B (1990) Decision-aid and decision-making. Eur J Oper Res 45(2–3) :324–331

Roy B (1991) The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. Theory Decis 31(1) :49–73

Roy B (1993) Decision science or decision-aid science ? Eur J Oper Res 66(2) :184–203

Roy B (1998) A missing link in OR-DA : robustness analysis. Foundations Comput Decis Sci 23(3) :141–160

Roy B (2006) Regard historique sur la place de la recherche opérationnelle et de l'aide à la décision en France.

Mathématiques et Sciences Humaines 175 :25–40

Roy B (2010) Robustness in operational research and decision aiding : a multi-faceted issue. Eur J Oper Res 200(3) :629–638

Roy B, Bertier P (1973) La méthode ELECTRE II—Une application au média-planning. In : Ross M (ed.) OR '72. North-Holland, Amsterdam, 291–302

Roy B, Bouyssou D (1993) Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas. Economica, Paris

Roy B, Dibon M (1966) L'ordonnement par la méthode des potentiels—Le programme CONCORD. Automatisme 2 :1–11

Roy B, Hugonnard J-C (1982) Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. Trans Res 16A(4) :301–312

Roy B, Simonnard M (1961) Nouvelle méthode permettant d'explorer un ensemble de possibilités et de déterminer un optimum. Revue Française de Recherche Opérationnelle (18/1 trimestre) :15–54

Roy B, Vanderpooten D (1996) The European school of MCDA : Emergence, basic features and current works. J Multi Criteria Decis Anal 5(1) :22–38

Roy B, Vincke P (1984) Relational systems of preference with one or more pseudo-criteria : some new concepts and results. Manage Sci 30(11) :1323–1335

Warshall S (1962) A theorem on Boolean matrices. J ACM 9(1) :11–12

A la mémoire de Bernard Roy

par Raymond Bisdorff (Université du Luxembourg)



FIGURE 6 – Réunion du groupe EURO-MCDA à Cérisy-la-Salle en 1999

La rencontre

«... L'objectif des recherches était de mettre au point une méthode de résolution [...] qui soit facile à utiliser, qui nécessite des hypothèses simples, aussi peu nombreuses et peu contestables que possible et qui puisse répondre aux besoins.» [1]

Ma première rencontre avec Bernard se passa à Paris en automne 1975 au démarrage de mes études en DEA *Modèles et Méthodes du Management Scientifique* au Lamsade à Paris-Dauphine. Pour moi, un choc culturel et scientifique qui allait marquer toute ma vie professionnelle ultérieure. Ma

dernière rencontre avec lui date de mardi 28 octobre 2014 à Luxembourg à l'occasion de la conférence *Graphs & Decisions*. Je l'ai accompagné le soir à la gare pour l'aider à prendre son TGV de retour vers Paris. Entre ces deux moments-clé, je n'ai en fait jamais arrêté de travailler sur le problème du meilleur choix en présence de critères multiples incommensurables, le problème de décision qui est à l'origine de la discipline de l'aide à la décision fondée par Bernard.

L'histoire scientifique de ce problème du choix débute à la SEMA en 1966 avec le tout premier rapport, non publié, au sujet de la méthode ELECTRE [1]. Comme doctorant au Lamsade sous la direction de Bernard de 1976 à 1981, après Philippe Vincke et avant Denis Bouyssou, j'étais en fait aux premières loges du développement ultérieur des nouvelles méthodes ELECTRE d'aide à la décision. Le début du Lamsade fut en effet une période productive majeure [2,3] et ce rapport précurseur resta caché pour moi dans la protohistoire des méthodes ELECTRE.

La découverte en 2008 de ce texte précurseur comme spécialiste dans l'aide à la décision, et particulièrement du problème du meilleur choix [2], a produit dans mon esprit le même effet que celui que l'on ressent lorsqu'on lit, comme utilisateur expert, le manuel d'utilisation détaillé d'un outil complexe. On se voit généralement confirmé dans sa compréhension du fonctionnement de l'outil. Mais il se peut aussi que l'on (re)-découvre des fonctionnalités pouvant, le cas échéant, aboutir à un usage enrichi de l'outil.

C'est ce qui m'arriva, et je voudrais ici, en guise de souvenir à Bernard, mentionner d'abord son pragmatisme fondamental. Ensuite, passer en revue son idée originale du

concept de *surclassement*, aujourd'hui largement acceptée dans la communauté de l'aide à la décision. Pour finir avec une intuition qui m'est alors venue au sujet de la modélisation logiquement et épistémiquement efficace du *principe de discordance* proposé en 1966.

Vers une aide pour la décision

«... La méthode [ELECTRE] est avant tout ... une méthode visant à la sélection. Elle a été conçue pour permettre d'éclairer un choix, et ceci de façon simple, c'est-à-dire à l'aide d'un mécanisme simple, dont le fonctionnement est constamment contrôlable, et en faisant appel à des hypothèses aussi peu restrictives que possible ...»[1]

Mon attirance majeure vers la méthodologie d'aide à la décision proposée par Bernard provient du fait que son approche est dès le début ancrée dans une *pragmatique concrète*, c'est-à-dire qu'elle s'attaque au problème de décision d'une manière objective et pratique, sans suivre une quelconque idéologie scientifique. Quand il propose en 1966 son principe de résolution du problème du meilleur choix, son approche est déjà clairement basée sur la doctrine *que les conséquences pratiques, et uniquement celles-là, sont les seuls critères du savoir, de l'entendement et de la valeur* d'une action potentielle de décision. De plus l'aide à la décision consiste autant à éclaircir le problème de décision que de proposer une recommandation de meilleur choix. Ces prémisses méthodologiques sont devenues avec le temps le trait majeur de la discipline de l'aide à la décision. En effet, l'optimisation, thème phare de la recherche opérationnelle classique, encore très présente dans ses ouvrages contemporains en théorie des graphes [3,4] par exemple, est une approche méthodologique très différente. Ce tournant vers une assistance pratique des acteurs d'un processus de décision représente ainsi l'originalité de l'aide à la décision moderne par rapport à la recherche opérationnelle classique. Une nouvelle discipline de la recherche opérationnelle, qui va prouver sa viabilité et spécificité, est née [5,6].

La contribution originale de Bernard est aussi très différente de l'analyse de la décision issue des sciences de la décision classiques. Basée sur l'utilité économique ou le mesurage conjoint, celle-ci a pour objet de modéliser des décisions humaines plus ou moins rationnelles, c'est-à-dire optimales ou satisfaisantes, par la construction de fonctions de valeurs numériques commensurables, –unités monétaires ou degrés de satisfaction [7]. Pour s'en distancer et marquer dès le début son originalité méthodologique, Bernard proposa dans son exemple didactique de 1966 des évaluations de performances linguistiques, ordinales par nature, comme : *très faible, faible, moyen, bien et excellent*. Préserver avant tout la signification objective du traitement de l'information préférentielle a été, en effet, toujours un de ses soucis majeurs. Il allait cependant devoir assumer en contrepartie une perte sévère de moyens de calculs. Agréger des performances ordinales, observées selon de multiples points de vue préférentiels incommensurables, et formuler des recommandations de meilleur choix, devenait dès lors un problème opérationnel non trivial.

Le concept original de surclassement

«... En vertu de quels principes peut-on caractériser les arcs qu'il convient d'ajouter [au graphe de dominance unanime] pour en

déduire un graphe qui soit en aussi bon accord que possible avec les différents points de vue, sans être pour cela trop pauvre en couples comparables ? ...»[1]

C'est la théorie du choix social qui lui apporta l'idée judicieuse que des comparaisons par paire, à la manière de CONDORCET, pouvaient donner un outil efficace pour agréger des points de vue préférentiels marginaux en un point de vue *consensuel médian* [8]. Considérer que chaque critère de performance agit comme une coalition d'électeurs unanimes et compter les votes en faveur d'une situation de préférence donnée, devient en effet la caractéristique distinctive principale de l'approche de Bernard, en l'occurrence ce qu'il appela dans la suite l'*approche par le surclassement*.

Une définition moderne du concept de surclassement s'énonce ainsi : «une action de décision x surclasse une action de décision y s'il y a une majorité de critères concordants qui confirment que x apparaît au moins aussi performant que y (le principe de concordance) et, il n'y a pas un critère discordant qui révélerait une grave contre-performance de x par rapport à y (le principe de discordance)». L'approche par surclassement consiste ainsi essentiellement à faire la balance entre des arguments affirmatifs et des arguments réfutatifs pour juger de la validité d'une situation de préférence «être au moins aussi performant que».

Le principe de concordance a été dès le début bien reçu par la communauté scientifique autour de Bernard. Le tableau des performances des actions de décision, sur lequel il se base, est en effet très objectif et pleinement informatif. Il confère au principe de concordance proposé toute sa validité significative. La réception du principe de discordance, par contre, a été plus controversée. Le texte de 1966 n'arrive en effet pas à proposer une définition convaincante de ce principe et qui soit en accord avec les principes méthodologiques précédemment affichés. La proposition initiale de prendre en compte un rangement ordinal commensurable des différences de performances observées sur tous les critères apparaît très discutable, et même en contradiction avec la soi-disante simplicité et nature peu contestable de l'approche par surclassement affichée plus haut.

L'incomparabilité : états épistémiques contradictoires

«... It is important to notice, that [in a bipolar epistemic setting], the logical negation operation can no longer be identified with standard set complementing. Contrary to classical logic, affirmation, as well as refutation of a preferential statement are here, both, based on explicit, not necessarily complementary, empirical arguments. ...»[11]

On a mis beaucoup de temps avant de comprendre les difficultés que pose une modélisation logiquement et épistémiquement cohérente du principe de concordance et du principe de discordance, tel qu'initialement souhaitée par Bernard.

Dans un premier temps, j'ai pu montrer formellement ([9,10]) que le principe de concordance revient en fait à prendre en compte des marges de majorité, où la signification des critères concordants est prise en compte positivement et celle des critères discordants négativement. On aboutit

ainsi à un calcul de crédibilité des situations préférentielles qui prend ses valeurs dans l'intervalle rationnel $[-1.0; +1.0]$ et où, le signe indique la validité, resp. la non validité, du surclassement et, la valeur médiane zéro (0.0), une situation logiquement indéterminée. En ce cas, ni la validité, ni l'invalidité de la situation préférentielle en question, ne peuvent être certifiées. Ce calcul caractéristique *bipolaire* est isomorphe à l'indice de concordance initialement proposé par Bernard.

Ce n'est qu'après Bouyssou et Pirlot eurent découvert en 2012 que le principe de discordance classique donnait lieu à un hiatus entre la partie asymétrique et la converse stricte d'une relation de surclassement, que nous avons compris que la simple conjonction logique du principe de concordance et du principe de discordance classique mène à des incohérences épistémiques. En prenant cependant en compte à la fois les discordances négatives (les situations de veto) et les discordances positives (les situations de contre-veto), on arrive à modéliser, à l'aide d'un opérateur spécial de *disjonction épistémique*, une fonction caractéristique bipolaire qui aboutit à des relations de surclassement *faiblement complètes* [11]. Une possible situation d'incomparabilité ne résulte ainsi plus de l'absence validée réciproque d'une relation, mais d'une *indétermination réciproque* de celle-ci. De ce fait, la relation de surclassement ainsi caractérisée vérifie également le principe de la codualité : La relation «*ne pas être au moins aussi performant*» signifie justement «*être moins performant*» et vice-versa.

La maturité du concept de surclassement ainsi acquise, et ceci de manière tout à fait conforme à l'idée originale de Bernard, a permis entre-temps de produire des résultats scientifiques et opérationnels majeurs. Mentionnons notamment la généralisation cohérente de l'indice de corrélation ordinaire τ de Kendall aux relations de surclassement valuées [12]. De même, nous arrivons actuellement avec l'approche par surclassement bipolaire à ranger linéairement en quelques minutes, sur des équipements de calculs hautement parallèles, plusieurs millions d'actions de décision évaluées sur une large famille de critères de performance incommensurables, même en présence de valeurs manquantes [13].

Avec le temps, l'approche par surclassement a donc pleinement fait ses preuves, bien au-delà du problème du meilleur choix unique pour lequel elle a été initialement pensée. Elle peut aujourd'hui fièrement porter la mémoire de son inventeur, Bernard Roy, chercheur opérationnel infatigable, d'une créativité et d'une rigueur scientifique tout à fait exceptionnelles.

Raymond Bisdorff
Luxembourg, juillet 2018

1. Benayoun R, Roy B, Sussmann B (1966). ELECTRE : Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. *Société d'Economie et de Mathématique Appliquée*, Direction Scientifique, Note de Travail n.9, Juin 1966.
2. Bidorff R, Meyer P, Roubens M (2008). RUBIS : a bipolar-valued outranking method for the choice problem. *4OR* 6(2) :143–165.
3. Roy B (1969). *Algèbre moderne et théorie des graphes*. Tome 1, Dunod Paris.
4. Roy B, Horps M (1970) *Algèbre moderne et théorie des graphes*, Tome 2, Dunod Paris.
5. Roy B (1985). *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Economica Paris.
6. Roy B, Bouyssou D (1993). *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*, Economica Paris.
7. Keeney R, Raiffa H (1976), *Decision with Multiple Objectives : Preferences and Tradeoffs*, Wiley, New York.
8. Barbut M (1966). *Médianes : Condorcet et Kendall*, Note de travail 44 de la Direction Scientifique de la SEMA. Reprinted in *Mathématiques et Sciences Humaines*, Tome 69 (1980) 5–13.
9. Bisdorff R (2000). Logical foundation of fuzzy preferential systems with application to the ELECTRE decision aid methods. *Computers and Operations Research* 27 :673-687.
10. Bisdorff R (2002). Logical Foundation of Multicriteria Preference Aggregation. In : Bouyssou D et al (eds) *Essay in Aiding Decisions with Multiple Criteria*. Kluwer Academic Publishers, 379–403.
11. R. Bisdorff (2013). On Polarizing Outranking Relations with Large Performance Differences. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* (Wiley) 20 :3-12.
12. Bisdorff R (2012). On measuring and testing the ordinal correlation between bipolar outranking relations. In *Proceedings of DA2PL'2012 - From Multiple Criteria Decision Aid to Preference Learning*, M. Pirlot and V. Mousseau (Eds.), University of Mons, November 15-16, pp. 91-100.
13. Bisdorff R (2016). Computing linear rankings from trillions of pairwise outranking situations. In *Proceedings of DA2PL'2016 From Multiple Criteria Decision Aid to Preference Learning*, R. Busa-Fekete, E. Hüllermeier, V. Mousseau and K. Pfannschmidt (Eds.), University of Paderborn (Germany), Nov. 7-8 2016 : 1-6.

Bernard Roy : un pionnier de l'ordonnement et de l'optimisation combinatoire

par Jacques Carlier, Philippe Chrétienne et Marie-Claude Portmann

1 Introduction

Bernard Roy a durant toute sa vie été au carrefour des mondes de l'entreprise et de l'Université. Il a commencé sa carrière au CNRS, puis a très vite rejoint EDF, puis la SEMA dont il a créé en 1961 la direction scientifique. La SEMA était une société de conseil en gestion pour les entreprises. Il en a été le directeur scientifique entre 1964 et 1974. A

l'époque, la Recherche Opérationnelle était une discipline nouvelle très florissante dans le monde de l'industrie. Il a donc travaillé sur des problèmes industriels tout en faisant une thèse d'état intitulée "Cheminement et connexité dans les graphes : Application aux problèmes d'ordonnement" qu'il a publiée en 1962 dans la revue METRA [3], revue qu'il avait fondée et dont il était le rédacteur en chef. Il s'agit d'un travail dans le domaine des mathématiques discrètes et principalement des graphes. Claude Berge était son directeur de thèse. Cette thèse rapporte la résolution de modèles mathématiques qu'il avait élaborés pour traiter des problèmes réels. Ainsi il a conçu une méthode célèbre en gestion de projets, la méthode des potentiels en 1958, à la suite d'un contrat avec la société MAVILOR qui fabriquait des vilebrequins. Il avait donc conscience de la complexité du monde réel. En fait, il devait résoudre un problème d'ateliers que l'on appelle maintenant flow-shop ou job-shop. D'ailleurs, dans sa thèse d'état, il introduit le modèle de flow-shop et énonce le fameux théorème de Roy qui permet de réduire la combinatoire pour sa résolution. Peu après, il a travaillé sur un contrat pour la construction du paquebot FRANCE et a réussi à montrer aux ingénieurs des CHANTIERS de l'ATLANTIQUE que les contraintes qu'on lui avait fournies étaient infaisables, alors que les ouvriers étaient capables de les prendre en compte ! La vérité est que les contraintes avaient une certaine flexibilité difficile à intégrer dans les modèles classiques. Cela l'a conduit à travailler par la suite sur la théorie de la décision. En parallèle avec son activité de directeur scientifique et de consultant, il travaillait sur un très gros ouvrage en deux tomes intitulé "Algèbre moderne et théorie des graphes", dont le spectre est très large et concerne l'Optimisation Combinatoire [1].

Notre objectif ici est de nous limiter à son apport à l'ordonnement. Un chapitre de 180 pages lui est dédié dans le tome 2. Nous avons eu la chance d'avoir cet ouvrage au début de nos recherches et donc avons grandement bénéficié de son travail pionnier. Dans cet article évidemment, nous nous limitons à présenter certains de ses travaux académiques originaux qui sont toujours d'actualité. Notre objectif est aussi de montrer comment les graines qu'il a su planter ont donné lieu à des développements ultérieurs qui lui doivent beaucoup. La section 1 sera dédiée à la méthode des potentiels, la section 2 aux problèmes disjonctifs et la section 3 aux problèmes cumulatifs. Nous concluons en montrant qu'il a su transmettre le virus du domaine en particulier à travers le séminaire du LAMSADE.

2 La méthode des potentiels et son application à la résolution du problème central cyclique

La méthode des potentiels concerne l'ordonnement d'un ensemble de tâches $\{1, \dots, n\}$ de durées (p_1, \dots, p_n) soumises à m contraintes temporelles du type $t_j - t_i \geq v_{ij}$ (contrainte notée (i, j, v_{ij})) où (t_1, \dots, t_n) sont les dates de début des tâches et où v_{ij} est un nombre réel donné. Ce problème est appelé *problème central de l'ordonnement*. La méthode des potentiels est fondée sur la notion d'*ensemble de potentiels* (en abrégé edp) d'un graphe orienté valué. Après avoir défini les edp, nous en présentons les propriétés essentielles et montrons comment ils permettent de résoudre le problème central de l'ordonnement.

2.1 Ensemble de potentiels

Soit $G = (S, A)$ un graphe simple orienté à n sommets et m arcs. On note $S = \{1, \dots, n\}$. Soit $v : A \mapsto \mathbb{R}$ une valuation des arcs de G . Un ensemble de potentiels du graphe valué (G, v) associe à chaque sommet i un nombre t_i tel que $\forall (i, j) \in A, t_j - t_i \geq v_{ij}$. L'existence d'un edp de (G, v) est conditionnée par la valeur de ses circuits.

Propriété 1. *L'ensemble des edp de (G, v) est non vide si et seulement si tout circuit de G est de valeur négative ou nulle.*

Preuve – Si ρ est un circuit de G de valeur $v(\rho) > 0$ et si t est un edp de (G, v) , alors, en sommant les inégalités de potentiel sur tous les arcs de ρ , on obtient $v(\rho) \leq 0$, d'où la contradiction. Supposons maintenant que tout circuit de G est de valeur négative ou nulle. Ajoutons à (G, v) un sommet 0 et pour tout $i \in \{1, \dots, n\}$, l'arc $(0, i)$ de valeur nulle pour obtenir le graphe valué (G', v') . Comme les circuits de G' sont aussi les circuits de G et sont donc de valeur négative ou nulle, pour tout chemin μ de G' , il existe un chemin élémentaire de G' ayant les mêmes extrémités que μ et de valeur au moins égale à $v(\mu)$. La valeur maximale α_i d'un chemin élémentaire de 0 à i dans G' est donc aussi la valeur maximale d'un chemin de 0 à i dans G . Si $(i, j) \in A$, alors on a nécessairement $\alpha_j \geq \alpha_i + v_{ij}$. Il en résulte que $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ est un edp de (G, v) . ■

L'ensemble des edp de (G, v) , noté $T(G, v)$, possède une structure de treillis pour laquelle les bornes inférieure et supérieure des edp (s_1, \dots, s_n) et (t_1, \dots, t_n) sont respectivement les edp $(\min\{s_1, t_1\}, \dots, \min\{s_n, t_n\})$ et $(\max\{s_1, t_1\}, \dots, \max\{s_n, t_n\})$. De plus $T(G, v)$ n'a pas de plus petit ni de plus grand élément car, si $t \in T(G, v)$, alors pour tout réel r , $(t_1 + r, \dots, t_n + r) \in T(G, v)$.

2.2 Le problème central de l'ordonnement (PCO)

Une instance (I, p, C) du problème central de l'ordonnement consiste en la donnée d'un ensemble de tâches $I = \{1, \dots, n\}$ de durées p_1, \dots, p_n , et d'un ensemble C de m contraintes du type (i, j, v_{ij}) . Un ordonnancement de cette instance attribue des dates de début (t_1, \dots, t_n) aux tâches telles que pour toute tâche $i \in I$, $t_i \geq 0$ et pour toute contrainte (i, j, v_{ij}) de C , $t_j - t_i \geq v_{ij}$. Le problème consiste alors à déterminer un ordonnancement minimisant la plus grande date de fin, à savoir $\max_{i \in \{1, \dots, n\}} t_i + p_i$.

Pour résoudre l'instance (I, p, C) , on construit le graphe valué $(G = (S, A), v)$ pour lequel $S = I \cup \{0, n+1\}$ (où 0 et $n+1$ sont appelées tâches fictives début et fin), à chaque contrainte (i, j, v_{ij}) est associé un arc (i, j) de A valué par v_{ij} et à chaque tâche $i \in \{1, \dots, n\}$ sont associés un arc $(0, i)$ valué par 0 et un arc $(i, n+1)$ valué par p_i . Il est alors aisé de voir que les ordonnancements de (I, p, C) sont les edp de (G, v) tels que $t_0 = 0$ et $t_{n+1} = \max_{i \in \{1, \dots, n\}} t_i + p_i$. t_{n+1} est alors la plus grande date de fin (encore appelée makespan) de l'ordonnement t .

Résoudre l'instance (I, p, C) revient alors à déterminer un edp t de (G, v) tel que $t_0 = 0$ et t_{n+1} est minimum. Si (G, v) possède un circuit strictement positif, l'instance (I, p, C) n'a pas de solution. Dans le cas contraire, notons α_i la valeur maximale d'un chemin de 0 à i dans (G, v) . Par définition des α_i , nous avons : $\alpha_0 = 0$; pour tout arc $(0, i)$, $\alpha_i - \alpha_0 \geq v_{0i} = 0$; pour tout arc $(i, n+1)$, $\alpha_{n+1} - \alpha_i \geq v_{i, n+1} = p_i$; pour tout arc $(i, j) \in A$, $\alpha_j - \alpha_i \geq v_{ij}$. α est donc un ordonnancement de (I, p, C) .

Si t est un ordonnancement de (I, p, C) , alors, en sommant les inégalités de potentiel vérifiées par t sur les arcs d'un chemin de valeur maximale de 0 à i dans (G, v) , il vient $t_i - t_0 \geq \alpha_i$, soit $t_i \geq \alpha_i$. Il en résulte que α est le plus petit ordonnancement de (I, p, C) . α est encore appelé ordonnancement au plus tôt ou ordonnancement calé à gauche. De plus α_{n+1} est le makespan minimal recherché.

Il est souvent utile de s'intéresser au sous-ensemble des ordonnancements de (I, p, C) dont le makespan est égal à α_{n+1} . Il est alors simple de montrer que ce sous-ensemble possède un plus grand élément β , encore appelé ordonnancement au plus tard ou ordonnancement calé à droite, défini pour toute tâche $i \in \{0, \dots, n+1\}$ par $\beta_i = \alpha_{n+1} - L_{(G,v)}(i, n+1)$ où $L_{(G,v)}(i, n+1)$ est la valeur maximale d'un chemin de (G, v) de i à $n+1$. Il en résulte que pour tout ordonnancement de makespan minimum, la date de début de la tâche i est comprise entre α_i et β_i . La figure 7 montre la résolution d'une instance du PCO.

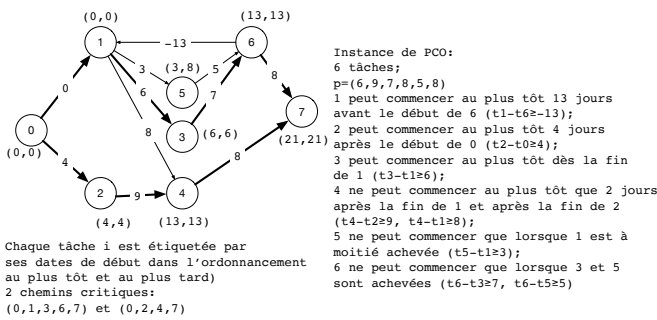


FIGURE 7 – Résolution d'une instance du PCO

2.3 Le problème central cyclique (PCC)

Dans certaines applications comme la production de pièces en grande série ou l'exécution de boucles de programme, un ensemble $I = \{1, \dots, n\}$ de tâches dites génériques doit être exécuté un très grand nombre de fois (nombre considéré comme infini dans la théorie)[6]. Une tâche élémentaire est alors un couple (i, k) où i est une tâche générique et k un numéro d'itération. Le critère à minimiser n'est plus le makespan mais le temps moyen de cycle, c'est-à-dire le temps moyen séparant les dates de fin de 2 itérations successives. Ainsi, si $t(i, k)$ est la date de début de l'itération k de la tâche i , le temps moyen de cycle de la tâche générique i est égal à $\limsup_{k \rightarrow \infty} (t(i, k) + p_i)/k$ et le temps moyen de cycle de l'ordonnancement t est $\max_{i \in I} (\limsup_{k \rightarrow \infty} (t(i, k) + p_i)/k)$.

Une contrainte de précédence générique est représentée par (i, j, h_{ij}, v_{ij}) où i et j sont des tâches génériques, où h_{ij} est un entier et où v_{ij} est un réel. Nous considérons ici le cas particulier mais fréquent où h_{ij} est un entier naturel, où $v_{ij} = p_i$ et où pour tout $i \in I$, la contrainte $(i, i, 1, p_i)$ existe. La contrainte (i, j, h_{ij}, v_{ij}) représente l'ensemble infini des inégalités de potentiel que doivent satisfaire les tâches élémentaires associées à i et j , à savoir : $\forall k \in \mathbb{N}, t(j, k + h_{ij}) \geq t(i, k) + v_{ij}$.

Une instance du PCC est alors définie par un graphe "doublement valué" (G, h, v) dont les sommets sont les tâches génériques et dont chaque arc (i, j) , valué par (h_{ij}, v_{ij}) , correspond à la contrainte (i, j, h_{ij}, v_{ij}) . h_{ij} et v_{ij} sont respectivement appelés hauteur et valeur de l'arc (i, j) . De plus, la hauteur $H(\mu)$ (resp. valeur $V(\mu)$) d'un chemin μ de

(G, h, v) est la somme des hauteurs (resp. valeurs) de ses arcs. Comme pour le PCO, la condition d'existence d'un ordonnancement est liée à la valeur des circuits du graphe (G, h, v) .

Propriété 2. L'ensemble des ordonnancements de l'instance (G, h, v) est non vide si et seulement si G ne possède pas de circuit de hauteur nulle et de valeur strictement positive.

Comme pour le PCO, s'il existe un ordonnancement, il existe aussi un ordonnancement calé à gauche $\alpha(i, k), i \in I, k \in \mathbb{N}^+$ où $\alpha(i, k)$ est la valeur maximale d'un chemin d'extrémité i et de hauteur k dans (G, h, v) . Chaque suite $\alpha(i, k), k \in \mathbb{N}^+$ possède des propriétés de périodicité très spécifiques liées aux circuits de G . Nous appelons alors période d'un circuit ρ de G le ratio $\omega(\rho) = \frac{V(\rho)}{H(\rho)}$, nous notons $\Omega(G)$ la période maximum d'un circuit de G et appelons circuits critiques les circuits élémentaires de période maximale.

Supposons, dans un premier temps, que G soit fortement connexe. Soit $\mathcal{C}(G)$ l'ensemble des circuits critiques de G et soit $\Pi(G) = \prod_{\rho \in \mathcal{C}(G)} H(\rho)$ le produit des hauteurs de ses circuits critiques. La périodicité des suites $\alpha(i, k), k \in \mathbb{N}^+$ est alors fondée sur la propriété suivante :

Propriété 3. Il existe un rang N tel que, pour $k \geq N$, $\alpha(i, k + \Pi(G)) = \alpha(i, k) + \Omega(G) \times \Pi(G)$.

La suite $\alpha(i, k), k \in \mathbb{N}^+$ est dite "K-périodique" de période $\omega = \Omega(G)$ et de périodicité $K = \Pi(G)$: à partir d'un certain rang, les dates de début de K itérations successives de la tâche générique i s'obtiennent à partir des K précédentes par un décalage temporel de valeur $K \times \omega$. Par conséquent, si G est fortement connexe, le temps moyen de cycle de chaque tâche générique est égal à $\Omega(G)$ dans l'ordonnancement au plus tôt et cette valeur est optimale.

Si G n'est pas fortement connexe, le temps moyen de cycle sera le même pour les tâches génériques d'une même composante fortement connexe. Notons alors $R(G) = (\mathcal{C}, U)$ le graphe réduit de G où \mathcal{C} est l'ensemble des composantes fortement connexes de G . Les temps moyens de cycle recherchés $\omega(C), C \in \mathcal{C}$ des composantes fortement connexes de G sont alors calculables comme suit : on détermine d'abord les périodes propres $\omega_0(C), C \in \mathcal{C}$ de chaque composante fortement connexe prise isolément; si (C_1, \dots, C_q) est une liste topologique des composantes fortement connexes selon $R(G)$, alors on a : $\omega(C_1) = \omega_0(C_1)$ et pour tout $j \in \{2, \dots, q\}, \omega(C_j) = \max(\omega_0(C_j), \max_{(C_i, C_j) \in U} \omega(C_i))$. La figure 8 montre le calcul des périodes de l'ordonnancement au plus tôt d'une instance du PCC.

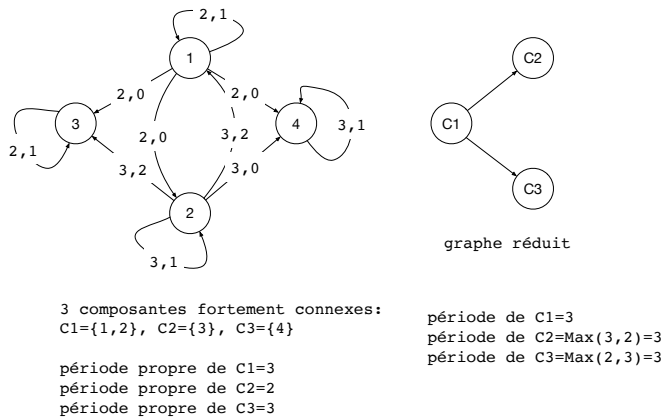


FIGURE 8 – Ordonnancement au plus tôt d'une instance du PCC

3 Les problèmes disjonctifs et leur application à la résolution des problèmes d'atelier

3.1 Graphe disjonctif et arbitrage

Chaque fois que 2 tâches utilisent un moyen unique, elles doivent s'exécuter dans des intervalles de temps disjoints. Une contrainte disjonctive est un couple d'arcs (i, j) et (j, i) valués par v_{ij} et v_{ji} et tels que la somme $v_{ij} + v_{ji}$ soit strictement positive. Elle exprime le fait que i et j ne peuvent pas s'exécuter simultanément.

Un *graphe disjonctif* est un graphe $G = (X, U \cup D)$ où les arcs de U correspondent aux contraintes conjonctives et les arcs de D correspondent aux contraintes disjonctives. A chaque contrainte disjonctive $\{i, j\}$ correspondent un arc (i, j) et un arc (j, i) . Un *arbitrage* est un choix de l'orientation de certaines contraintes disjonctives. A chaque arbitrage, on associe le graphe obtenu à partir de G en ne retenant pour chaque contrainte disjonctive arbitrée que l'arc orienté conformément à son arbitrage. Un arbitrage est complet si toutes les arêtes de D sont arbitrées.

3.2 Problèmes d'atelier

On appelle problème d'atelier un problème dans lequel des pièces doivent passer sur des machines. Ils sont très divers, mais ils nous intéressent ici uniquement lorsqu'il y a une machine de chaque type : chaque machine introduit alors une *clique de disjonctions*. On distingue les flow-shops des job-shops selon que les gammes dépendent ou non de la pièce.

3.3 Flow-shop

Dans un flow-shop, on a q machines et p pièces. Chaque pièce doit passer sur chaque machine, l'ordre des machines étant fixé. Un ordonnancement est caractérisé par un q -uplet (O_1, \dots, O_q) où O_j est l'ordre de passage des pièces sur la machine j . On cherche un ordonnancement de durée minimum, le temps d'usinage de la pièce i sur la machine j étant connu. On associe à ce problème un graphe disjonctif dont les arcs sont valués par la durée des tâches.

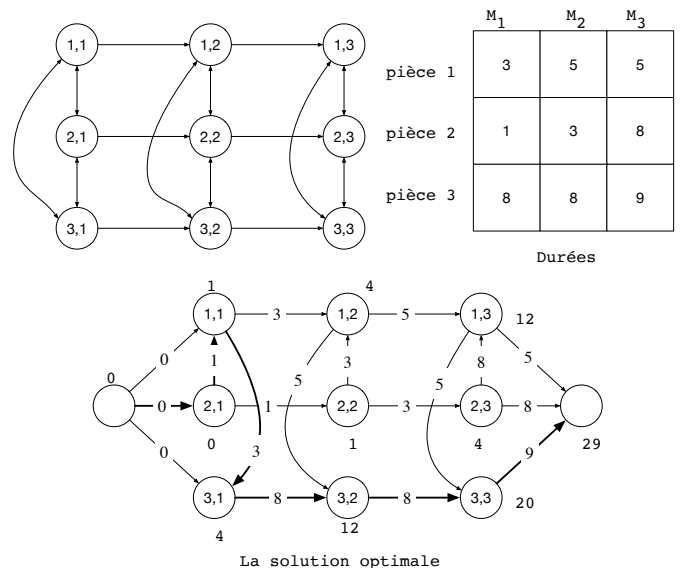


FIGURE 9 – Le graphe disjonctif d'un flowshop à 3 machines et sa solution optimale

Le théorème de ROY permet alors de réduire la combinatoire :

Théorème 1. Soit un ordonnancement associé à un q -uplet (O_1, \dots, O_q) , l'ordonnancement associé au q -uplet (O'_1, \dots, O'_q) tel que $O'_1 = O_2$, $O'_q = O_{q-1}$ et $\forall j \in \{2, \dots, q-1\}, O'_j = O_j$ a une durée totale plus faible.

Il en résulte que l'on peut se limiter dans la recherche d'une solution optimale aux ordonnancements tels que $O_1 = O_2$ et $O_{q-1} = O_q$. Donc pour $q = 2$ et $q = 3$, il existe une solution optimale pour laquelle tous les ordres sont identiques.

3.4 Job-shop

Dans un job-shop, les gammes des pièces peuvent être distinctes. Ces problèmes sont évidemment NP-difficiles au sens fort. Pour les résoudre, on bâtit des méthodes arborescentes de type PSES arbitrant par exemple sur l'orientation de certaines contraintes disjonctives. Rappelons que Bernard Roy a introduit les concepts de méthode PSES et PSEP selon que le parcours d'une arborescence d'énumération se fait en profondeur d'abord ou en largeur d'abord.

4 Les contraintes "OU" et leurs applications à la résolution des problèmes cumulatifs

Quand plusieurs tâches utilisent une même ressource disponible en quantité limitée, les demandes cumulées risquent de dépasser la disponibilité. Dans ce cas, les quantités de ressource allouées aux différentes tâches sont fonction du temps. Une contrainte "OU" est définie par Bernard Roy, comme un m -uplet formé de m contraintes de potentiel (m est appelé cardinal de la contrainte "OU") et cette contrainte est satisfaite si au moins une inégalité est satisfaite. Nous avons bâti [5] une méthode arborescente basée sur les arbitrages des contraintes "OU" associées aux ensembles critiques, à savoir les sous-ensembles minimaux de tâches qui ne peuvent pas s'exécuter simultanément.

5 Conclusion

Bernard Roy a été un pionnier de la théorie de l'ordonnement dans les années 60. Mais plus largement son livre en deux tomes sur l'optimisation combinatoire a contribué à l'émergence de la Recherche Opérationnelle en France. Il a, dans cet ouvrage, mêlé ses expériences industrielle et académique pour présenter des modèles pertinents basés sur les graphes et leur résolution et pour l'enrichir par des cas pratiques sous forme d'exercices. Bernard Roy y introduit aussi les méthodes PSES et PSEP, appelées maintenant méthodes arborescentes. Son chapitre sur l'ordonnement a été le ferment d'une communauté française dans le domaine. Peu après sa publication, il a demandé à Marie-Claude Portmann d'animer un séminaire sur les problèmes d'ordonnement à l'université Paris-Dauphine. Le groupe GOTHa a ensuite pris le relais de l'animation nationale autour des problèmes d'ordonnement. Puis la ROADEF a permis au niveau national de développer la Recherche Opérationnelle et l'Aide à la Décision, avec pour objectif de rassembler les mondes universitaire et industriel. Bernard Roy en est, à juste titre, son président d'honneur.

Références

- [1] Bernard Roy. *Algèbre Moderne et Théorie des Graphes*. DUNOD, 2 tomes, Paris 1970.
- [2] Bernard Roy. *La Recherche Opérationnelle entre acteurs et réalités*. Interview de Bernard Roy par Bernard Colasse et Francis Pave, Annales des Mines, 1997.
- [3] Bernard Roy. *Cheminement et Connexité dans les Graphes : Application aux problèmes d'ordonnement*. Thèse d'état, METRA, 1962.
- [4] Jacques Carlier. *Disjonctions dans les ordonnancements*. RAIRO, vol.2, pp. 83–100, juin 1975.
- [5] Jacques Carlier. *Problèmes d'ordonnement à contraintes de ressources : Algorithmes et Complexité*. Thèse d'état, Université Pierre et Marie Curie, 1984.
- [6] Philippe Chrétienne. *Les réseaux de Petri temporisés*. Thèse d'état, Université Pierre et Marie Curie, 1983.

Présentation du LAMSADE

par Alexis Tsoukiàs

1 Brève Histoire

Le LAMSADE a été créé en 1974 suite à une série d'événements plus ou moins indépendants. En 1969 venait d'être créée l'Université Paris Dauphine autour essentiellement des sciences de la gestion (pour être précis : Sciences de la Décision et des Organisations). De manière tout à fait naturelle l'Université avait besoin de compétences en Recherche Opérationnelle. Plus ou moins dans la même période, en 1971, Bernard Roy quittait la direction scientifique de la SEMA-METRA suite au départ de Jacques Lesourne de la direction générale. En 1972 Bernard est recruté par Dauphine. Peu après son arrivée Bernard prend deux décisions : établir le LAMSADE et créer le DEA 103 "Méthodologie et Modèles du Management Scientifique" (plus tard connu comme "Méthodes Scientifiques de Gestion" ; à l'époque n'existent pas les Masters, mais les DEA), aujourd'hui connu comme Master MODO (Modélisation, Optimisation, Décision, Organisation). Il s'agit d'une des premières tentatives de créer des centres de recherche académiques et de formation en Recherche Opérationnelle et en Aide à la Décision en France.

Un élément dont il faut se souvenir (pour comprendre l'évolution du laboratoire) est le fait qu'au moment de leur fondation ni le LAMSADE ni le DEA ne sont des initiatives liées à l'informatique. Bernard (qui n'était pas hostile à l'informatique, au contraire) n'avait pas une vision disciplinaire de l'aide à la décision (il était mathématicien, mais sa longue expérience dans le conseil lui avait enseigné de partir des problèmes et non pas des méthodes). Il s'agissait donc d'une vision assez large du domaine. Deux ans plus tard Bernard prendra une autre initiative extrêmement importante. En 1976 il adresse une lettre au directeur du département SPI du CNRS pour lui présenter les activités de recherche du LAMSADE et obtient l'association du LAMSADE au CNRS. Nous avons les copies

de cette correspondance. Le LAMSADE à l'époque est une entité minuscule : un professeur, un maître de conférences, une secrétaire et quelques étudiants en thèse. Malgré cela, le CNRS prend le risque, reconnaissant l'unicité du laboratoire et son importance dans le contexte de l'Université Paris Dauphine et accepte le LAMSADE comme URA 825 (aujourd'hui UMR 7243).

Vers la fin des années 80 et le début des années 90, Dauphine décide de développer de manière significative l'informatique (avec l'arrivée de plusieurs professeurs d'Informatique ; notamment Geneviève Jomier et Danielle Mailles qui fonderont les formations d'informatique) et le CNRS décide, en accord avec Bernard Roy, que le LAMSADE doit devenir le centre de recherche en informatique de Dauphine tout en gardant son identité thématique. À partir de ce moment, tous les enseignants chercheurs en Informatique de Dauphine seront associés au LAMSADE. Quand j'arrive au LAMSADE en 1993 le LAMSADE est structuré en 6 équipes (décision, optimisation, applications de l'AD, bases de données, Intelligence Artificielle, Réseaux et Systèmes).

En 1999 Bernard Roy laisse la direction du laboratoire (après 25 ans) et Vangelis Paschos lui succède. À ce moment le LAMSADE a déjà une taille considérable (voir tableau 1) et quelques années plus tard, il décide de se structurer en 4 équipes (Décision, Optimisation, Bases de Données, Intelligence Artificielle). À la fin des années 2000 le CNRS demande une nouvelle restructuration qui réduira la structure en 2 pôles (Décision et Optimisation). En 2012 la direction du LAMSADE est passée à l'auteur de cette note. Pendant les 6 ans de sa direction un troisième pôle a été ajouté (Sciences de Données en 2016). Au début 2018 Daniela Grigori prend la direction du LAMSADE. Entre temps le LAMSADE est devenu un laboratoire important (voir tableau 1) avec plus de

100 membres.

1972 BR à Dau- phine	1974 Création LAM- SADE	1976 CNRS As- soc.	1999 VP	2012 AT	2018 DG
	1 PU 1 staff 2 PhD	1 PU 1 MdC 1 staff 4 PhD	7 PU 13 MdC 1 CNRS 6 staff 20 PhD	13 PU 20 MdC 9 CNRS 5 staff 32 PhD	15 PU 26 MdC 15 CNRS 4 staff 45 PhD

TABLE 1 – LAMSADE Time Line

2 Spécificités du LAMSADE

Le LAMSADE a été depuis sa fondation un laboratoire atypique. La raison fondamentale de cette “atypicité” est le fait que le LAMSADE n’est pas né comme un centre de recherche d’une discipline, mais autour d’un sujet de recherche (vaste et complexe) qui est l’aide à la décision. Au moment de sa fondation l’idée de Bernard Roy était de poursuivre l’expérience multi-disciplinaire de la direction scientifique de la SEMA.

Comme conséquence, depuis sa fondation le LAMSADE a promu une vision globale de l’aide à la décision. Certes il s’agit d’une aide à la décision fondée sur l’utilisation de langages formels et/ou de méthodes quantitatives, sur des algorithmes, à partir de structures de données et de connaissances, mais sans oublier l’insertion de l’aide à la décision dans les organisations, les processus de décision, la quête de légitimité pour les recommandations de l’aide à la décision. Ceci accompagne une réflexion autour de l’aide à la décision comme une profession et non pas seulement comme un sujet de recherche théorique et méthodologique.

Le LAMSADE est premièrement connu au niveau international pour sa contribution à l’aide multicritère à la décision. Bernard Roy a créé une école internationale autour de sa vision de ce domaine de recherche (voir <http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda/>). Aujourd’hui nous savons qu’en réalité tout problème de décision a plusieurs dimensions et demande la prise en compte de plusieurs objectifs potentiellement en conflit entre eux. De ce point de vue la contribution des recherches menées au LAMSADE est d’avoir créé une démarche méthodologique globale qui va de l’axiomatique des modèles et des méthodes à la conduction en général des processus d’aide à la décision.

Cependant, la vocation du LAMSADE de créer des communautés internationales autour des sujets de recherche de pointe ne s’arrête pas à la méthodologie d’aide multicritère à la décision. Pensons aux contributions en algorithmique et notamment autour des problèmes de la complexité paramétrée, en optimisation combinatoire (avec la série des conférences ISCO), la création de la communauté “Algorithmic Decision Theory” (www.algodec.org) et sa contribution aux communautés COMSOC (Computational Social Choice), et en Théorie Algorithmique des Jeux.

Cette vision globale et interdisciplinaire de l’aide à la décision ne doit pas cacher le fait que le LAMSADE est et reste un laboratoire d’informatique. Certainement une informatique centrée autour des Sciences et Technologies de la Décision qui va des Sciences des Données à l’algorithmique, de la programmation mathématique aux modèles non conventionnels des préférences, de l’Intelligence Artificielle au Deep

Learning sans négliger l’aide à la décision dans le monde réel : transports, réseaux, santé, politiques publiques pour citer quelques secteurs où nous accompagnons des processus de décision réels.

Le LAMSADE a encore d’autres caractéristiques atypiques. Nous avons plus de 35% du personnel scientifique permanent qui sont des femmes (loin du pourcentage moyen de la discipline) et plus de 40% de chercheurs permanents sont d’origine étrangère (nous parlons plus de 15 langues différentes dans le laboratoire). Et surtout nous restons un lieu de travail convivial. Sans surprise nous sommes l’un de rares laboratoires de recherche qui a organisé des compétitions culinaires entre ses membres (les Escargots d’Or).

3 Aujourd’hui

Le LAMSADE aujourd’hui est un laboratoire d’un peu plus de 100 personnes, dont 57 chercheurs permanents et 4 administratifs. Le laboratoire est structuré autour de 3 “pôles”, qui servent à l’animation de la recherche et de 10 “projets” qui conduisent les activités de recherche de moyen et long terme (voir la figure 10). Certains des projets sont “internes” aux pôles, mais la moitié d’entre eux impliquent des chercheurs de plusieurs pôles.

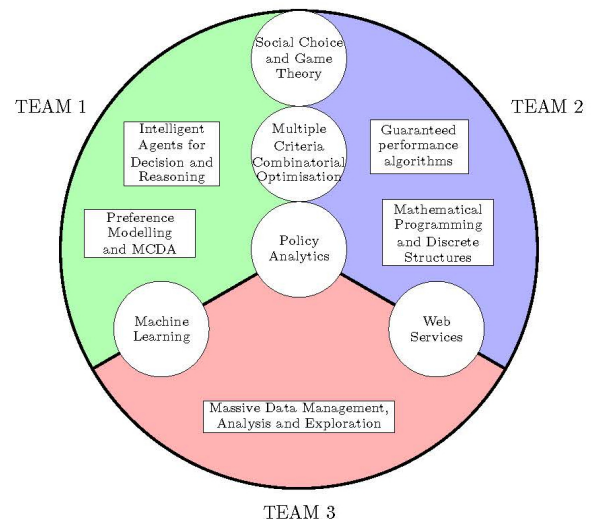


FIGURE 10 – La structure du LAMSADE

Le budget annuel de recherche du LAMSADE s’élève à environ 1.5M€ annuellement, dont 1/3 est d’origine “science driven” (dotations de base) et 2/3 est d’origine “objective driven” (contrats industriels, Fondations, ANR, EU etc.). Nous avons environ 10 nouveaux thésard(e)s chaque année, thèses qui durent en moyenne 3.9 ans.

Il est difficile de parler de toute la recherche qui est menée aujourd’hui dans le LAMSADE (visible dans le dernier rapport HCERES, disponible sur notre site). En utilisant ce rapport je veux citer quelques résultats scientifiques remarquables de ces dernières années : l’axiomatisation des indices bibliométriques, la participation massive des chercheurs du LAMSADE dans l’ouvrage de référence “Handbook of Computational Social Choice”, le nouveau cadre d’approximation dénommé “super-polynomial”, l’amélioration des fonctions Lovász-theta, des nouvelles méthodes pour la recherche de solutions préférées en optimisation multi-objective, des nou-

velles solutions pour la réduction des coûts en intégration de données, de nouveaux algorithmes d'apprentissage automatique, de nouvelles méthodes pour la composition et la découverte de services web. Ajoutons les faits marquants de ce dernier quinquennat : la célébration des 40 ans du laboratoire, la création du 3^{ème} pôle en Data Sciences, le "best paper award" dans la conférence AAMAS 2016 et l'attribution concomitante de la médaille de bronze (Eunjung Kim) et

d'argent (Jérôme Lang) du CNRS en 2017.

Après plus de 40 ans d'existence le LAMSADE continue à produire une excellente recherche et à avoir une très grande visibilité internationale. Cependant, il n'a jamais arrêté de promouvoir l'ouverture de nouvelles pistes et thématiques et de se proposer comme créateur de communautés. Et nous pensons de continuer dans cette tradition.

Les recherches du LAMSADE en Aide Multicritère à la Décision : un bref aperçu

par Denis Bouyssou, Brice Mayag et Meltem Öztürk

L'Aide Multicritère à la Décision est sans conteste l'une des thématiques de prédilection du Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision (LAMSADE) depuis sa création en 1974.

Comme cela a été souligné dans les articles précédents, Bernard Roy (1934-2017) a créé le LAMSADE suite à une carrière de consultant à la SEMA, carrière qui a sans doute beaucoup influencé sa vision de l'Aide à la Décision et de la Recherche Opérationnelle. En effet, pour traiter des problèmes de décision du monde réel, on fait appel à des processus de décision complexes faisant intervenir des acteurs multiples. De plus, on est souvent amené à manipuler des données entachées d'imprécision, d'incertitude et de mauvaise détermination. Tout cela a amené Bernard Roy à développer une nouvelle conception de l'Aide à la Décision et à proposer des méthodes multicritères originales. Bernard Roy résumait sa conception de l'aide à la décision dans une définition, souvent connue par cœur par les chercheurs francophones du domaine. Comme vous pouvez le constater, cette définition est probablement l'une des définitions les plus complètes de l'AD ; elle est par conséquent un peu complexe [3] :

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part.

Le processus d'Aide à la Décision qui se crée met en scène au moins deux acteurs : le décideur et l'analyste. Le premier a la responsabilité du choix final de la "meilleure" solution au problème. Il peut intervenir tout au long du processus en donnant ses préférences, en émettant des avis et autres souhaits. L'analyste, quant à lui, facilite le processus d'aide à la décision par une approche rigoureuse du problème. Les recommandations qu'il fournit ne sont pas une "décision ultime" mais plutôt un "éclaircissement", une "aide à la décision". C'est en cela que le terme Aide à la Décision, "Decision Aiding", issu de la philosophie Lamsadienne et souvent présenté comme celui de l'Ecole Européenne d'Aide à la Décision, diffère de celui de Prise de

Décision, "Decision Making", communément utilisé dans les pays anglo-saxons. L'*EURO Working Group Multicriteria Decision Aiding*, créé en 1975 par Bernard Roy, est l'un des lieux de rencontre des chercheurs de cette école européenne (<http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda>). Le groupe se réunit deux fois par an depuis sa création. A ce jour, il rassemble près de 300 chercheurs et sa 88^{me} réunion vient de se tenir, du 27 au 29 septembre, à Lisbonne au Portugal.

En prenant en compte plusieurs points de vue ou critères, souvent contradictoires, le décideur peut être confronté à diverses problématiques d'aide à la décision :

- **Choix** : comment choisir la (ou les) "meilleure(s)" actions ?
- **Rangement** : comment ranger les actions de la "meilleure" à la "moins bonne" ?
- **Tri** : comment affecter les actions à des catégories ordonnées et prédéfinies ?

La vision de l'AD de Bernard a poussé les chercheurs du LAMSADE à travailler sur différents aspects de l'AD : la conception d'un processus décisionnel, dynamique et constructif, prenant appui sur l'interaction entre l'analyste et le décideur ; la conception, l'axiomatisation et le développement de différentes méthodes dédiées aux trois problématiques citées ci-dessus ; la modélisation des préférences permettant l'expression des préférences sophistiquées comme l'incomparabilité, la préférence faible ou les préférences évaluées ; l'élicitation des préférences des décideurs et des paramètres décisionnels des modèles tels que les poids et les seuils par des exemples d'apprentissage (en faisant un rapprochement avec des techniques d'apprentissage automatique) ; le développement de systèmes d'argumentation permettant d'expliquer les recommandations (par exemple, comment expliquer automatiquement les résultats d'algorithmes de décision qui prennent actuellement une grande place dans nos travaux et notre vie quotidienne) ; la robustesse des solutions...

Un grand nombre de chercheurs de l'AD/RO connaît le LAMSADE via les méthodes ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la Réalité), qui sont des méthodes d'Aide Multicritères à la Décision (AMCD). Historiquement, les premières méthodes d'AMCD apparurent dans les années soixante. On peut schématiquement les classer en deux catégories ([2]) :

Les méthodes de surclassement. Aussi appelées méthodes de comparaison par paires, elles ont pour objectif de construire une relation binaire appelée relation de surclassement sur l'ensemble des actions et de l'exploiter dans la problématique d'aide à la décision envisagée. La relation de surclassement est, en général, construite en utilisant un principe de concordance et de non discordance. Pour affirmer qu'une action a est au moins aussi bonne qu'une action b , il faut qu'une majorité suffisante de critères appuie cette affir-

mation (*concordance*) et que l'opposition des autres critères ne soit pas trop forte (*non discordance*).

Utiliser une méthode de surclassement présente de nombreux avantages :

- On peut utiliser des critères de nature variée sans avoir à recoder les valeurs sur une échelle commune
- On peut limiter les phénomènes de compensation entre critères : par exemple une très bonne rentabilité ne pourra pas toujours compenser un manque de sécurité
- On peut différencier l'indifférence (si deux actions sont très proches en matière de préférence) de l'incomparabilité (les deux actions sont difficilement comparables dans l'état actuel de mon information)
- On peut utiliser des seuils (de préférence, d'indifférence) afin de pallier la mauvaise qualité des données utilisées pour bâtir les critères.

Les méthodes ELECTRE, nées au LAMSADE, sont les méthodes les plus connues des méthodes de surclassement . Elles sont nombreuses (voir [1] pour plus de détails) :

- **ELECTRE I** : 1968 (Choix)
- **ELECTRE II** : 1972 (Rangement)
- **ELECTRE III** : 1978 (Rangement et Seuils)
- **ELECTRE IV** : 1982 (méthodes n'utilisant pas de poids)
- **ELECTRE TRI** : 1992 (Tri avec profil limite)
- **ELECTRE TRI C** : 2010 (Tri avec profil central)
- **ELECTRE TRI nC** : 2013 (Tri avec profils centraux)
- **ELECTRE TRI nB** : 2017 (Tri avec profils limites)

Les logiciels mettant en oeuvre ces méthodes sont désormais en accès libre sur le site internet du LAMSADE (www.lamsade.dauphine.fr). On peut les retrouver également sur Decision Deck (<https://www.decision-deck.org/project>) qui est une plateforme open-source d'outils d'Aide Multicritère à la Décision qu'un groupe de laboratoires universitaires Européens, dont fait partie le LAMSADE, a mis en place.

Les méthodes de l'utilité multiattribut. Aussi appelées méthodes à base de scores, leur principe est de représenter numériquement les préférences du décideur. Les méthodes fondées sur une utilité additive, dont la somme pondérée, en sont des exemples. Ces méthodes nécessitent un codage numérique qui est parfois délicat à mettre en oeuvre de façon probante.

L'apprentissage et l'élicitation des fonctions d'utilités additives constituent un sujet de recherche au LAMSADE depuis les années 80. Éric Jacquet-Lagrange et Yannis Siskos (tous deux alors au LAMSADE) ont été parmi les premiers à mettre en place une approche d'élicitation fondée sur la program-

mation mathématique ([4]). Leur méthode UTA, conçue pour des problèmes de rangement a été une source d'inspiration pour de nombreux chercheurs qui ont largement étendu et généralisé l'approche initiale. Leur technique dite d'agrégation/désagrégation a été également utilisée pour l'élaboration des versions d'UTA dédiées à des problèmes de Tri ou de rangement avec l'introduction de relations nécessaires et possibles. Cette approche reste, de nos jours, très utilisée pour l'apprentissage des paramètres décisionnels de différentes méthodes d'Aide Multicritères à la Décision, qu'il s'agisse des méthodes de surclassement ou de l'utilité.

La prise en compte des dépendances ou interactions ou encore des synergies entre critères de décision est aussi un centre d'intérêt pour le LAMSADE. Ces aspects sont modélisés par des fonctions d'agrégation non additives tels l'intégrale de Choquet ou de Sugeno pour des méthodes de scoring ou par des coalitions de critères nécessaires pour des méthodes de surclassement. Bernard Roy a été l'un des premiers à vouloir intégrer certains types de synergie dans des méthodes de surclassement.

Notons enfin que le LAMSADE a toujours tenu à mettre à l'épreuve du réel les modèles qu'il développe. Il a ainsi été impliqué dans des applications qui ont concerné des domaines variés : agriculture, énergie, environnement, gestion de l'eau, finance, transport, etc. (voir les références dans [5]).

L'Aide à la Décision continue donc à être un des principaux thèmes des chercheurs du LAMSADE qui suivent la philosophie de Bernard Roy.

Références

- [1] Roy B. and Bouyssou D. *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas*. Economica, Paris 1993
- [2] D. Bouyssou and Th. Marchant and M. Pirlot and P. Perny and A. Tsoukiàs and Ph. Vincke. *Evaluation and decision models : a critical perspective* Kluwer Academic, Dordrecht 2000
- [3] B. Roy. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* Economica, Paris 1985
- [4] E. Jacquet-Lagrange and J. Siskos. *Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method* European Journal of Operational Research, vol.10-2, pp.151-164, 1982
- [5] J. Figueira and V. Mousseau, and B. Roy. *ELECTRE methods* Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London ; ed. J. Figueira and S. Greco and M. Ehrgott ; Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art Survey ; pp.133-162, 2005



Vie du GDR RO

par **Alain Quilliot**

1 Le GDR RO (CNRS 3002) - Un point sur le GDR RO

L'activité du GDR CNRS Recherche Opérationnelle s'est poursuivie sur la première partie de cette année 2018 sur des bases similaires à celles des années précédentes. Le GDR s'est impliqué au mois de février dans l'organisation du Congrès annuel ROADEF, à Lorient, **au travers des tutoriels du GDR** et des exposés passionnants dispensés par Chengbin CHU (Problèmes de Set Partitioning), Xavier GANDIBLEUX et Anthony PRZYBYLSKI (Branch and Bound Multi-Objectifs), Michel GRABISCH (Décision Multicritère), Imed KACEM (Schéma d'Approximation Polynomiale), Safia KEDAD-SIDHOUM (Problèmes de Lot-Sizing) et Bruno TUFFIN (Théorie des Jeux et Neutralité du Net). Il s'est aussi impliqué dans la tenue en juin à Toulouse du Congrès MOSIM au travers d'une session semi-plénière sur le thème "RO et Santé" par Thierry GARAIX et Yannick KERGOSIEN ; ainsi que, par l'intermédiaire du Groupe "Programmation Mathématique Optimisation Non Linéaire en Variables Continues et Discrètes" du GDR RO, dans la tenue en mars à Autrans des Journées SMAI-MODE.

Comme chaque année, le GDR a soutenu un certain nombre de **mobilités doctorales** (responsable Lucie GALAND) au travers de bourses pouvant aller de 400 à 700 euros. Cette année, les bénéficiaires ont été des doctorants issus des laboratoires CEDRIC CNAM, CRISTAL LILLE, G-SCOP, LA-MIH, LGP de l'ENI TARBES et LIMOS.

Comme chaque année depuis maintenant 4 ans, s'est tenue en mai à Troyes, sous la houlette de Philippe LACOMME et Caroline PRODHON et avec l'appui du Laboratoire LOSI et des GT GT2L, BERMUDES, META et OSI, **l'Ecole Jeunes Chercheurs du GDR**, sur le thème des problématiques émergentes en Ordonnancement et Transport. Cet événement, qui a rassemblé pas loin de 80 participants sur 3 jours, a été un succès complet.

La fin d'année devrait voir se dérouler notamment les Journées PGMO (EDF/Institut Hadamard), sur le plateau de Saclay, dans le comité de programme desquelles le GDR figure en tant que tel, et la traditionnelle Journée Industrielle du GDR/ROADEF, qui se tiendra le 23 novembre à l'IHP à Paris en partenariat avec le **GDR Robotique**, sur le thème Décision et Robotique. Le choix de ce thème, comme celui l'année précédente du thème Interaction RO/IA, n'est pas gratuit. S'est en effet tenue au mois de mars sur le Campus Bernard MEGIE du CNRS une réunion INS2I autour de l'identification des nouveaux challenges qui se posent dans chacun des domaines de Recherche sur lesquels le CNRS a mis en place des GDRs. Il est dans ce contexte **très important pour le GDR RO** de faire état d'un renouvellement de ses thématiques et de ses approches, et d'une

ouverture en direction des champs considérés comme les plus porteurs d'enjeux sociétaux et économiques (Robotique, Intelligence Artificielle, Mobilité Innovante, Santé, Energie,...). Cette exigence, ainsi que celle d'être en mesure de faire état de façon précise du potentiel du GDR sur ces sujets devrait faire l'objet d'un travail particulier dans les prochains mois.

2 Présentation du Groupe "Ordonnancement Théorique et Appliqué" (GOThA)

Le GOThA (Groupe de Recherche en Ordonnancement Théorique et Appliqué) s'est constitué dans les années 90, de manière informelle à l'initiative de Jacques CARLIER et de Philippe CHRETIENNE. Après près d'une quinzaine d'années d'existence et une liste de diffusion toujours grandissante, le GOThA s'est d'abord rattaché au GDR ALP fin 2002 puis au GDR RO du CNRS depuis le 1er janvier 2006. Le GOThA a bénéficié d'un appui historique du LIP6 et les derniers animateurs en date ont été successivement Philippe BAPTISTE, Pierre LOPEZ, Francis SOURD et dernièrement Fanny PASCUAL appuyée par Safia KEDAD-SIDHOUM. Depuis 2014, le groupe est animé par Imed KACEM, appuyé par Antoine JOUGLET et David RIVREAU.

Thèmes scientifiques et interactions socio-économiques

Le GOThA a pour but de faire se rencontrer chercheurs et industriels intéressés autour des problématiques d'ordonnancement, avec focus sur les aspects fondamentaux. Le GOThA se démarque ainsi d'autres groupes thématiquement voisins, beaucoup plus orientés sur les applications spécifiquement associées à la gestion de production industrielle. Ainsi, le GOThA a pour ambition de faire progresser la compréhension et la résolution des problèmes d'ordonnancement, de participer au transfert vers le monde industriel et de favoriser l'émergence de problématiques nouvelles en phase avec l'entreprise et les nouveaux enjeux sociétaux. Les activités du groupe comportent des réflexions sur des problèmes théoriques précis, l'écriture d'articles de synthèse ou d'ouvrages pédagogiques, mais aussi l'organisation de séminaires, de groupes de travail thématiques et la diffusion d'informations. Les équipes impliquées dans le groupe entretiennent souvent d'importants partenariats avec le monde des entreprises. Certaines d'entre elles ont par exemple, de façon relativement récente, passé des contrats avec des entreprises telles que SFRI, CEA, Digiteo, chaire industrielle Supply-Chain ECP-CARREFOUR-PSA-DANONE, ainsi que de nombreux accords CIFRE. Par ailleurs, les laboratoires actifs dans GOThA ont récemment participé à des projets institutionnels importants (exemples : ANR ROBOCOOP, ANR LMCO, ANR ATHENA, INTERREG PRODPILOT, CNES-ROSETTA, FUI RCS Management, FUI VIPAFLEET, PICS-CNRS...). On peut également noter que les résultats obtenus par les équipes et les chercheurs impliqués dans le groupe sont régulièrement publiés dans des revues internationales de premier ordre. Les sujets de recherche étudiés couvrent à la fois les aspects théoriques et les applications industrielles. Ils sont de plus en plus associés à des problématiques interdisciplinaires et à des défis scientifiques et sociétaux majeurs (santé, compétitivité économique, performance industrielle, transport et environnement. . .).

Activités récentes

Les rencontres du groupe et les journées dédiées sont fréquemment organisées, surtout depuis 2014. Ces événements couvrent diverses formes :

- événements majeurs comme la 1ère édition de l'École Jeunes Chercheurs du GDR-RO à Metz (septembre 2015), la 3ème édition de cette même école à Angers (novembre 2017) et la Journée Spéciale en l'honneur de Jacques CARLIER à Compiègne (juin 2015),
- journées thématiques avec différentes zones géographiques couvertes (Paris, Compiègne, Metz, Angers, Toulouse, Tours, Montpellier, ...),
- sessions spéciales en lien avec des conférences, notamment avec le congrès de la ROADEF (organisation régulière d'un track annuel attractif sur l'ordonnancement depuis 2015),
- journées communes avec d'autres groupes du GDR (comme les groupes AGAPE, POC, Systèmes Distribués, P2LS, BER-MUDES, GT2L...).

Le contenu de toutes ces manifestations est disponible sur le site web du groupe qui a été récemment relooké. Le Gotha reste ouvert à toutes les propositions pour faire avancer des projets collaboratifs et des synergies scientifiques en lien avec les thèmes visés.

Pour en savoir plus :

<http://gotha.lcoms.univ-lorraine.fr>

Animateurs :

Imed KACEM, LCOMS, Université de Lorraine, Metz
Antoine JOUGLET, HEUDIASYC, UTC, Compiègne
David RIVREAU, LARIS et UCO, Angers

3 Présentation du Groupe "Applications et Théorie de l'Optimisation Multi-objectif" (ATOM)

Le groupe Applications et Théorie de l'Optimisation Multi-objective (ATOM) a été créé au sein du GDR-RO comme transversal au pôle Décision/Evaluation/Modélisation et au pôle Fondements de l'Optimisation afin de pouvoir répondre à différents objectifs. Le groupe créé en 2013 fait suite au groupe de travail PM2O (Programmation Mathématique Multi-Objectif) créé en janvier 2000 par Xavier GANDIBLEUX et Vincent T'KINDT. Il fut ensuite animé par Clarisse DHAENENS et Vincent BARICHARD et finalement par Matthieu BASSEUR, Laetitia JOURDAN et Nicolas JOZEFOWIEZ. Son évolution en ATOM a été réalisé pour bien mettre en avant deux facettes des travaux concernés : les applications pratiques ainsi que la recherche plus méthodologique ou fondamentale.

Objectifs scientifiques

Les objectifs du groupe de travail ATOM sont liés à la promotion des travaux et aux échanges autour de l'Optimisation Multicritère principalement au sein de la communauté française et francophone. On retrouve ainsi au sein de ce groupe des préoccupations aussi bien académiques qu'orientées vers la résolution de problèmes industriels. Ainsi des préoccupations théoriques comme le calcul d'optima de Pareto stricts,

l'évaluation des performances d'algorithmes multicritères, ou encore la proposition d'une démarche pour la résolution d'un problème multicritère sont abordés par le groupe. On croise également les résultats théoriques présentés avec des domaines d'applications comme par exemple l'ordonnement, l'agencement d'atelier, la théorie des graphes, les problèmes d'affectation, etc.

Lors des réunions du GT nous essayons de faire intervenir aussi bien des chercheurs seniors que des jeunes chercheurs afin de créer des discussions sur des recherches en cours et sur des travaux plus aboutis. Notre objectif également est de faire intervenir des chercheurs ayant des travaux appliqués à des problématiques industrielles. Nous avons sur ce domaine beaucoup de jeunes chercheurs en CIFRE et il est intéressant qu'ils se confrontent tôt à la communauté. La participation de jeunes chercheurs et surtout de doctorants est actuellement un élément clé de son dynamisme. Les réunions ont principalement lieu à Paris afin de permettre à chacun d'y accéder plus facilement, mais certaines réunions ont également lieu dans des laboratoires de différents membres afin de montrer les activités du domaine de recherche en local.

Actions récentes

Grâce au soutien du GDR RO, le groupe a organisé des journées de travail mais également une école d'été en 2017. Le groupe se réunit plusieurs fois par an. Depuis quelques temps, les journées de travail sont organisées en deux temps : une présentation longue d'un senior sur un domaine proche de la thématique du groupe de travail et des exposés de travaux en cours afin de stimuler la discussion. L'école d'été ATOM qui a eu lieu à Lille du 12 au 16 Juin 2017 a rassemblé plus de 50 participant issus de 18 pays. Cette école a permis de rassembler des acteurs majeurs du domaine de l'euro-région (France, Belgique, Angleterre) : V. T'KINDT, X. GANDIBLEUX, J. KNOWLES, D. VANDERPOOTEN, A. PRZYBYLSKI, P. PERNY, D. JONES, F. LOGIST, N. JOZEFOWIEZ, C. DHAENENS et L. JOURDAN. Le groupe est également actif dans l'organisation de sessions dans des conférences internationales.

Perspectives

Une nouvelle édition de l'école, plus centrée sur les méthodes par approximation, devrait avoir lieu en 2019. Le groupe organisera également une réunion à l'Automne 2018 puis en hiver 2018-2019. Nous invitons toutes personnes intéressées à nous contacter et elles sont les bienvenues pour nous rejoindre.

A moyen terme, nous souhaiterions également réaliser :
- un livre de cours sur les thématiques d'ATOM
- une issue spéciale sur le Multiobjectif dans une revue du domaine

Et d'autres actualités à suivre sur le site du groupe <http://www.lifl.fr//ATOM>

Animateurs :

Laetitia JOURDAN, CRISAL/INRIA, Université Lille 1
Thibaut LUST, LIP6, Sorbonne Université, Paris
Matthieu BASSEUR, LERIA, Université d'Angers

Bilan du congrès ROADEF 2018 à Lorient

par **Marc Sevaux et André Rossi**

Le congrès de la ROADEF, 19^{ème} édition et anniversaire des 20 ans de la ROADEF, s'est déroulé à Lorient du 21 au 23 février 2018. L'équipe d'organisation, pilotée par le Lab-STICC et l'Université Bretagne Sud, comptait des membres de toute l'Université Bretagne-Loire allant de Angers à Brest en passant par Nantes et Rennes.

Nous avons eu la chance, cette année, de nous retrouver en plein centre-ville au Palais des Congrès de la ville de Lorient et le temps magnifiquement ensoleillé a permis à tous de découvrir la ville, atypique, reconstruite totalement après la seconde guerre mondiale, et qui a obtenu le label "ville d'art et d'histoire" en 2006.



Le programme scientifique était résolument intense et très enrichissant pour les 400 participants et pour les orateurs. Nous avons pu écouter deux conférenciers plénières avec des présentations de très haut niveau : Cristina Bazgan (Université Paris Dauphine) et Kenneth Sørensen (Université d'Anvers), et comme d'habitude des tutoriaux du GDR RO et les sessions industrielles. Pour ceux d'entre vous qui n'auraient pas eu la chance de pouvoir assister à ces conférences, vous avez encore l'opportunité de les retrouver en vidéo sur le site de la conférence (<http://roadef2018.labsticc.fr> - rubrique "La conférence en images"). Cette année encore, de nombreux prix ont été décernés (Prix Robert Faure, Prix du Meilleur Article Étudiant, Prix GT2L, ...).

Un effort tout spécial avait été mis en place par les organisateurs pour vous proposer des moments de découverte de la gastronomie locale et du savoir-faire de nos restaurateurs, les retours des participants ont salué cet effort. Merci à tous pour ces retours positifs, c'est notre meilleure récompense.

Cette conférence a rencontré un grand succès grâce aux participants, mais aussi grâce à nos sponsors, LocalSolver (Sponsor Platine), ROADEF, GDR RO, GDR MOA, AMIES, Investissements d'Avenir, IBM, Amadeus, Renault, EURODECISION, Le comparateur Assurance, Orange, Fico, DecisionBrain, Schneider Electric, A-SIS, Lorient Agglomération, Palais des Congrès, Université d'Angers, Université de Bretagne-Sud, Lab-STICC. Merci à tous.

ROADEF/EURO Challenge

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

Édition 2018-2019

Problème de découpe optimale - Saint-Gobain

Le challenge ROADEF/EURO 2018-2019 est lancé depuis le 23 f 2018. Le porteur industriel pour cette édition est Saint-Gobain, entreprise française spécialisée dans la production, la transformation et la distribution de matériaux de construction.

Le sujet est plus spécifiquement proposé par le Datalab de Saint-Gobain Research – Paris. Le problème se pose dans le secteur de l'industrie du verre et porte sur l'activité de découpe de verre plat. Il vise à concevoir un ensemble de plans de découpe qui permet de minimiser les pertes de verre. Celles-ci sont notamment induites par la suppression des défauts pouvant apparaître dans le produit fini.

Ce problème s'apparente à un problème classique de Recherche Opérationnelle, dit problème de bin-packing. Ce dernier est à deux dimensions avec des contraintes additionnelles, de nature organisationnelle ou liées à la découpe.

Le sujet a été présenté au cours du congrès ROADEF 2018 à Lorient. Comme habituellement, un premier ensemble d'instances a été mis à disposition ainsi qu'un vérificateur de solutions et un outil permettant de les visualiser. Ces outils

ainsi que le sujet détaillé sont en ligne sur le site dédié à la compétition (<http://challenge.roadef.org>).

Le premier jalon de cette compétition a été marqué par la fin de la phase de sprint le 23 mai 2018. Les résultats ont été annoncés le 1er juin 2018. L'heureux vainqueur de cette compétition est Gabriel Gouvine (LocalSolver, France). Il a reçu un prix de 5000 euros remis par Quentin Viaud du Datalab lors du congrès EURO 2018 qui a eu lieu à Valencia du 8 au 11 juillet 2018. Le lauréat a été ainsi qualifié pour la phase finale de la compétition. Félicitations Gabriel (à droite sur la photo) !



La phase de qualification s'est terminée le 23 septembre 2018 et les résultats ont été annoncés un mois plus tard. Vingt équipes (sur 64 inscrites) ont été qualifiées à l'issue de cette phase avec une grande diversité géographique des équipes participantes (25 pays représentés). L'équipe qui remporte le prix de la phase de qualification est espagnole

(Universidad de Valencia/Universidad de Castilla-La Mancha). Bravo à Ramón Álvarez-Valdés, María Teresa Alonso et Francisco Parreño qui remportent le prix de 5000 euros !

L'annonce des équipes qualifiées s'est accompagnée de la mise à disposition d'un nouveau lot d'instances utilisé pour le classement des équipes lors de l'ultime étape de cette compétition.

Les résultats de la phase finale seront annoncés lors du congrès ROADEF 2019 au Havre avec remise d'un prix pour chaque catégorie : senior, junior et open source.

Comme pour l'édition précédente, un prix scientifique soutenu par la ROADEF et EURO est également lancé. Le jury de ce prix scientifique est présidé par François Clautiaux de l'Université de Bordeaux. Un numéro spécial est également prévu dans la revue internationale EURO Journal on Computational Optimization.

Surveillez le site du challenge pour disposer de toutes les informations et actualités sur la compétition !

<http://challenge.roadef.org>

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

L'équipe Challenge Saint-Gobain : Lydia Tilane et Quentin Viaud.

ROADEF 2019 au Havre

par **Eric Sanlaville et Adnan Yassine**

La communauté de la Recherche Opérationnelle et de l'Aide à la Décision prend toujours plaisir à se retrouver lors de son congrès national. La conférence ROADEF 2019 est organisée par les deux laboratoires LITIS et LMAH de l'Université Le Havre Normandie, avec l'appui pour son organisation de l'Université de Caen Normandie, de l'INSA de Rouen, et de l'École de Management de Normandie. La région Normandie soutient également fortement cette manifestation, ainsi que de nombreux établissements académiques normands, et des sponsors industriels locaux et nationaux. Elle a pour but de favoriser les échanges et les collaborations entre chercheurs académiques et industriels évoluant dans la discipline.



Le congrès se déroulera du lundi 18 au soir au jeudi 21 février 2019 au Havre. Le Havre est une ville portuaire située sur la rive droite de l'estuaire de la Seine en Normandie et créée par le Roi François 1er en 1517. Les participants pourront profiter de cet événement pour visiter son centre ville reconstruit entièrement après la Seconde Guerre Mondiale par Auguste Perret et dernièrement classé patrimoine mondial de l'UNESCO. Ils pourront également choisir de découvrir son grand port maritime, second port français en tonnage et premier pour le transport de conteneurs, ou son musée d'Art Moderne André Malraux riche de tableaux impressionnistes.

ROADEF 2019 couvrira les différents thèmes de la Recherche Opérationnelle et de l'Aide à la Décision. Elle proposera un programme scientifique très riche avec une conférence inaugurale exceptionnelle de Dominique De Werra (EPFL Lausanne) dès le lundi soir, trois conférences plénières (Sanaz Mostaghim - Magdeburg, François Vanderbeck - Bordeaux, Stein W. Wallace - Bergen), plusieurs tables rondes et semi-plénières industrielles, 230 communications orales, le prix du meilleur article étudiant, l'Assemblée Générale de la ROADEF et la réunion annuelle du GDR-RO.

Toutes les informations sont sur le site de la conférence : <https://roadef2019.univ-lehavre.fr/>

Présidents du comité d'organisation : Eric SANLAVILLE et Adnan YASSINE



L'énigme de l'automne 2018 : "Au sommet"

par **Jean-Yves Lucas (EDF)**

Quand elle est dans un escalier, Géraldine la grenouille peut franchir d'un seul bond deux, quatre ou six marches. Elle peut aussi faire un bond d'une seule marche, mais une seule fois par trajet, car un bond si modeste lui demande beaucoup de concentration. Si elle est au pied d'un escalier de n marches, de combien de manières différentes peut-elle en atteindre le sommet ?

Solution de l'énigme du numéro 39 : "Lapin" (D. Porumbel)

D'abord, il est facile de vérifier que les nombres de la forme $5k + 2$ et $5k + 3$ ne peuvent pas être des carrés parfaits. Par exemple, le lapin pourrait sauter sur les cases 7, 12, 19, 24, ... sans jamais tomber sur un carré parfait pour sauter en arrière. Ainsi, il suffit de placer deux pièges à 10002 et 10003 pour gérer ces deux cas.

Nous allons montrer que ces deux pièges sont suffisants pour garantir que le lapin ne peut pas dépasser la case 10500. En effet, pour arriver une première fois à une case ≥ 10500 , il doit passer par une des cases suivantes : 10002 (capturé), 10003 (capturé), $10000 = 100^2$, $10201 = 101^2$ ou $10404 = 102^2$. S'il tombe dans une de ces trois dernières cases, il revient en arrière sans jamais pouvoir dépasser 10500. Il reste deux cas : (i) le lapin est capturé lorsqu'il saute sur la case 10002 ou 10003 ; (ii) il fait un cycle infini périodique sans jamais tomber dans les cases 10002 ou 10003 et sans dépasser 10500.

Nous allons montrer qu'un seul piège est suffisant pour gérer le cas du cycle périodique associé au cas (ii) plus haut. Je dirais que c'est à partir de ce moment que la preuve devient plus difficile. Comment montrer que tout cycle périodique

se termine par tomber sur une case particulière ? Comme souvent pour ce genre de problèmes, la solution me paraît plus facile à vérifier qu'à trouver. Pour avoir un repère et pour avoir plus de contrôle, je commence avec : soit b la plus petite case du cycle périodique. On va considérer deux cas : (1) $b = 5k$ et (2) $b = 5k + i$ avec $i \in \{1, 4\}$. Pour le cas (i), on va démontrer $(5k - 5)^2 < b$. Pour cela, on part de $(5k - 5) < b^2$ et on observe qu'il n'est pas possible d'avoir $(5k - 5)^2 \in [b, b^2]$: si cela avait été le cas, le lapin aurait pu parcourir tous les multiples de 5 dans l'intervalle $[b, (5k - 5)^2]$ et il aurait donc sauté en arrière sur la case $5k - 5$ ou sur une case encore plus petite. En tout cas, il aurait pu sauter sur une case inférieure à b , ce qui est une contradiction ; cela montre que $(5k - 5)^2 < b = 5k$. Mais cette inégalité n'est pas vérifiée par $k \geq 2$ parce que pour $k = 2$ on a $5^2 > 10$ et l'écart se creuse pour des valeurs de k encore plus grandes (pour les non-croyants les plus sceptiques : la fonction $(5k - 5)^2 - 5k$ est croissante pour $k \geq 2$ car sa dérivée est positive). Le seul k naturel qui vérifie $(5k - 5)^2 < 5k$ est $k = 1$. Donc le cycle doit passer par la case 5. On doit placer un piège sur la case 5.

Pour finir, on aborde le cas (2) $b = 5k + i$ avec $i \in \{1, 4\}$. Un peu comme dans le paragraphe ci-dessus, on va montrer $(b - 2)^2 < b$. On part de $(b - 2)^2 < b^2$ et on va prouver que $(b - 2)^2 \notin [b, b^2]$. D'abord, on observe que $(b - 2)^2 = (5k + i - 2)^2$ est un nombre de la forme $5k' + i$ pour tout $i \in \{1, 4\}$, car $(4 - 2)^2 \equiv 4 \pmod{5}$ et $(1 - 2)^2 \equiv 1 \pmod{5}$. Cela montre qu'on ne peut pas avoir $(b - 2)^2 \in [b, b^2]$. Si cela avait été le cas, le lapin aurait pu parcourir toutes les cases de la forme $5k' + i$ dans l'intervalle $[b, b^2]$, y compris $(b - 2)^2$ et il aurait pu donc sauter en arrière à une case inférieure à b . Cela prouve $(b - 2)^2 < b$, qui est équivalent à $b < 4$. La seule valeur $b = 5k + i < 4$ avec $i \in \{1, 4\}$ est $b = 1$. Mais à partir de $b = 1$, le lapin sauterait à 16, ensuite à 4 et à 2, pour finir dans le piège 10002.

Contactez le bureau

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

Aziz Moukrim, president@roadef.org

François Clautiaux, secretaire@roadef.org

Caroline Prodron, tresorier@roadef.org

Anna Robert, vpresident1@roadef.org (bulletin)

Antoine Jeanjean, vpresident2@roadef.org (site web)

Céline Gicquel, vpresident3@roadef.org (relations internationales)

Meltem Öztürk, promotion_road@roadef.org (promotion de la RO/AD)



IFSTTAR





amadeus



Air Liquide



QUINTIQ



HUAWEI



OPTIMIZATION SOLUTIONS



AIRFRANCE



ArcelorMittal



sopra steria



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



ROADEF : LE BULLETIN

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

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

Comité de rédaction : F. Clautiaux, C. Gicquel, A. Jeanjean, A. Moukrim, M. Ozturk, C. Prodhon, A. Robert.

Production du Bulletin : A. Robert.

Ce numéro a été tiré à 450 exemplaires. Les bulletins sont disponibles sur le site de la ROADEF.