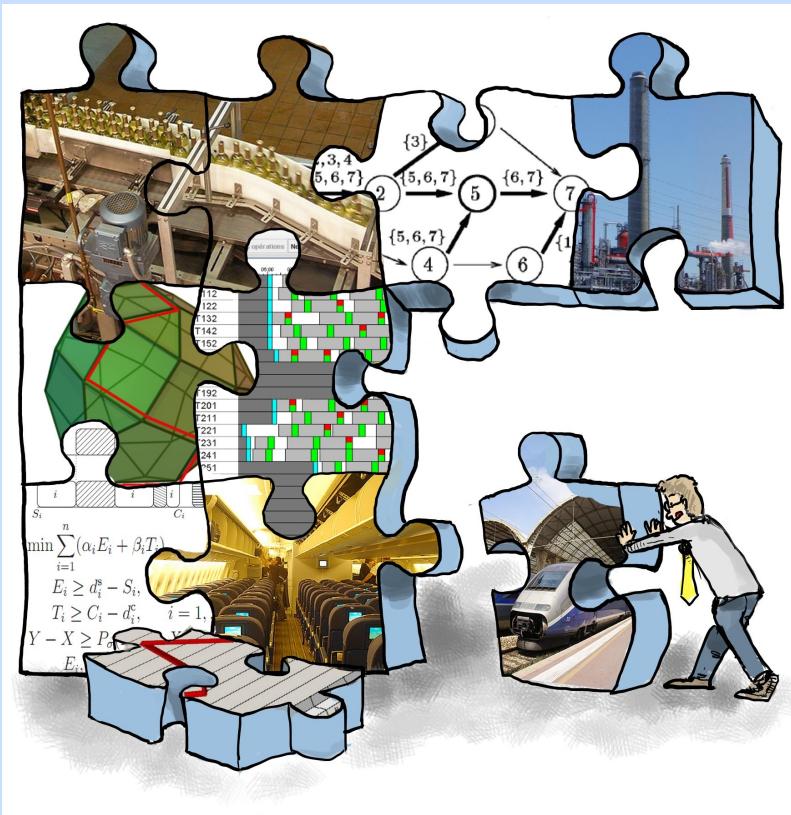
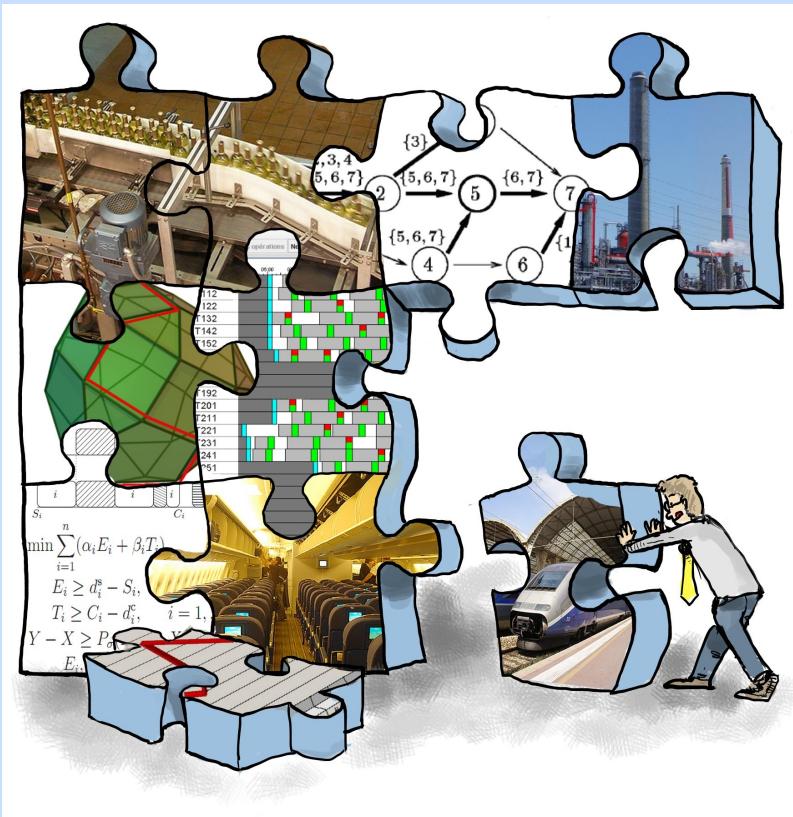


La Recherche Opérationnelle en France



La Recherche Opérationnelle en France



Qu'est-ce que la Recherche Opérationnelle ?

La recherche opérationnelle est une approche quantitative permettant de produire de meilleures décisions. Elle fournit des outils pour rationaliser, simuler et optimiser l'architecture et le fonctionnement des systèmes industriels et économiques. Elle propose des modèles pour analyser des situations complexes et permet aux décideurs de faire des choix efficaces et robustes.

La recherche opérationnelle est une discipline exploitant ce qu'il y a de plus opérationnel dans les mathématiques, l'économie et l'informatique. Elle est en prise directe avec l'industrie et joue un rôle-clé dans le maintien de la compétitivité.

Ses apports sont visibles partout : de l'organisation des lignes de production d'automobiles à la planification des missions spatiales, de l'optimisation des portefeuilles bancaires à l'aide au séquençage de l'ADN, mais aussi dans la vie de tous les jours pour le recyclage des déchets, l'organisation des ramassages scolaires, les emplois du temps des infirmières ou la couverture satellite des téléphones portables...

Ce livre est une contribution collective de praticiens et de chercheurs de ce domaine varié et passionnant.



© ROADEF 2011
www.roadef.org
Prix : 7 euros

La Recherche Opérationnelle en France

La science du management quantitatif



© Copyright ROADEF 2011 www.roadef.org

Version OCTOBRE 2011

*La couverture utilise des images sous licence Creative Commons CC-by-sa.
Tous les dessins de l'ouvrage sont soumis à cette même licence (auteur: Lionel Lagarde). Les droits des autres illustrations appartiennent aux sociétés citées dans les articles.*

Ont contribué à la réalisation de cet ouvrage...

...le Bureau de la ROADEF 2010-2011^() et :*

Lætitia ANDRIEU, Jérôme QUENU, Fabrice CHAUDET (EDF-DER)
Thierry BENOIST (BOUYGUES e-LAB)
Jean-Charles BILLAUT (Université de Tours, LI, Tours)
Florence BOUTEMY, Michele QUATTRONE (AIR LIQUIDE)
Jean-Christophe CULIOLI (coordinateur de l'ouvrage), Julien PEYRIEUX (AIR FRANCE)
Luc DECHAMP (SFR)
Guillaume ERBS, Slawomir PIETRASZ, Anna ROBERT (GDF SUEZ)
Emmanuel GUERE (GOOGLE)
Nabil GUERINIK (ORACLE)
Bernard LEMARIÉ (LA POSTE)
Christophe LACOTE, Sylvain CATHEBRAS, Renaud LEPERE (ALMA)
Denis MONTAUT, Laurent PAJOU (EURODECISION)
Alain NGUYEN (RENAULT)
Adam OUOROU, Pascal CHAMBREUIL, Marc BOULLÉ, Eric GOURDIN (ORANGE LABS)
Eric PINSON (IMA/UCO, OPTILOGISTIC)
Arnaud RENAUD (ARTELYS)
Sylvain SÉCHERRE (Armée de Terre, DSRO)
Francis SOURD (SNCF, I&R)
Alain TRAZZI (COSYTEC)
Jean-Philippe VIAL, Frédéric BABONNEAU (ORDECSYS)

Ce livre blanc est une œuvre collective réalisée sous l'égide de la ROADEF, *Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*, par des rédacteurs indépendants issus du monde universitaire et du monde industriel. Le point de vue adopté est descriptif et militant, non pour défendre telle ou telle école de pensée, mais pour faire mieux connaître l'ampleur du **gisement d'innovation et d'efficacité** que pourrait procurer une meilleure utilisation des ressources françaises en recherche opérationnelle. Ce livre ne juge pas, ne compare pas. Il expose, suggère et, espérons-le, donne envie aux lecteurs d'en savoir plus, d'agir et de décider.

*Francis SOURD, SNCF I&R ; Denis MONTAUT, EURODECISION ; Nadia BRAUNER, Univ. J. Fourier, Grenoble ; Christelle JUSSIEN-GUÉRET, IRCCyN - École des Mines de Nantes ; Nathalie SAUER, Univ. de Metz ; François VANDERBECK, Univ. Bordeaux 1.

La Recherche Opérationnelle

AVANT-PROPOS, JEAN-PAUL HAMON, AMADEUS	5
INTRODUCTION.....	7
LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE DANS LES ENTREPRISES	13
COMMENT LES INDUSTRIELS S'ORGANISENT.....	17
EDF.....	19
GDF SUEZ	21
FRANCE TELECOM	23
GOOGLE.....	25
LA POSTE.....	26
RENAULT	27
BOUYGUES	29
La SNCF	31
AIR FRANCE	33
SFR	35
AIR LIQUIDE	37
D'INCONTESTABLES RÉUSSITES	40
ÉNERGIE.....	42
EDF – Apogée Lissage.....	42
ARTELYS – Energy Planner.....	44
GDF SUEZ – PANDA TRIO : comment investir sur les réseaux gaziers ?	46
GDF SUEZ – Opti-ATM (Accès au Terminal Méthanier).....	50
LOGISTIQUE.....	54
ARMÉE DE TERRE – GENEFORCE.....	54
EURODECISION – LP-SUPPLYCHAIN.....	58
LA POSTE	62
AIR LIQUIDE – ODRAL.....	69
TELECOMMUNICATIONS – MEDIAS.....	71
ORANGE LABS – Dimensionnement et design optimisés des réseaux radiomobiles...71	71
ORANGE LABS – KHIOPS.....	76
SFR – Dimensionnement du réseau ADSL.....	79
BOUYGUES – TF1 – Revenue Management.....	81
COSYTEC – Télévision Suisse Romande.....	83
INDUSTRIE MANUFACTURIERE.....	87
ALMA	87
RENAULT	91

CONSTRUCTION.....	97
BOUYGUES - COLAS – Maintenance d'un réseau routier.....	97
TRANSPORTS.....	99
AIR FRANCE – ARCHIPEL.....	99
AIR FRANCE – ORA Plus.....	101
SNCF - PRESTO.....	102
SNCF – SIOUCS.....	104
SOCIÉTÉS DE CONSEIL ET EDITEURS DE LOGICIELS.....	107
ALMA	108
AMADEUS	109
ARTELYS.....	110
EURODECISION.....	112
OPTILOGISTIC	114
ORDEC SYS	116
COSYTEC.....	118
ILOG (IBM)	119
FICO et ARTELYS.....	122
ORACLE	125
POUR ALLER PLUS LOIN	128
ANNEXES.....	130
ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE.....	130
SOCIÉTÉS CITÉES.....	135
La ROADEF	136

La recherche opérationnelle est une discipline scientifique dont l'utilité et les champs d'exploitation n'ont fait que croître au fil des décennies, aidée en cela par les progrès dans les mathématiques et les techniques d'optimisation, ainsi que par l'explosion des possibilités offertes par les technologies de l'information.

Le transport aérien est une illustration parfaite de l'importance stratégique de la recherche opérationnelle. La RO a été au cœur de la révolution des compagnies aériennes dans les vingt dernières années, en particulier en introduisant des approches sophistiquées d'adaptation des prix à la demande, sans lesquelles elles n'auraient pas pu mettre en œuvre les transformations nécessaires à leur compétitivité et à leur survie.

La RO est utilisée dans bien d'autres domaines que le transport, comme en témoignent les exemples cités dans ce livre. Elle mériterait pourtant d'être diffusée plus largement chez l'ensemble des industriels.

Faire de la RO, ce n'est pas simplement résoudre un problème combinatoire dans un sous-ensemble d'une entreprise, c'est aussi fournir aux décideurs des outils quantitatifs de leur activité. La RO doit devenir plus encore le partenaire privilégié du dirigeant et des contrôleurs de gestion, ainsi que des services à valeur ajoutée de l'entreprise.

Ce livre montre donc d'une façon éclatante qu'il existe un courant de renouveau de la RO en France et cela ne peut être que bénéfique à la compétitivité de nos entreprises.

Les conditions sont réunies pour qu'on aille plus loin encore, car nous bénéficions d'une formation de plus en plus performante et proche de l'industrie, et les jeunes talents devraient être attirés par ces nouvelles perspectives. Les décideurs de la vie publique ont leur rôle à jouer pour encourager une plus large utilisation du management quantitatif dans le tissu industriel français.

Nul doute que ce livre riche en exemples d'applications de la RO contribuera à ce nouvel élan.

Jean-Paul HAMON
Executive Vice President, Development
AMADEUS

INTRODUCTION

La recherche opérationnelle (RO) peut se définir comme la mise en œuvre de méthodes scientifiques, essentiellement mathématiques, en vue de prendre la meilleure décision possible. Établir plus précisément quand entre en jeu la recherche opérationnelle dans un processus de prise de décision est une tâche plus difficile. En effet, l'expert en recherche opérationnelle exploite des connaissances provenant de sources particulièrement variées qu'on peut classer en trois grandes catégories : les mathématiques appliquées, l'informatique et les modèles métiers.

Sous le terme de « mathématiques appliquées », nous regroupons les méthodes qui constituent la boîte à outils de notre expert. La programmation linéaire, en variables réelles ou entières, est intimement liée à l'histoire de la recherche opérationnelle puisque c'est à la suite de la création de la première méthode de résolution efficace de programmation linéaire, à savoir l'algorithme du simplexe en 1947, que s'est développée la RO. Elle consiste à minimiser (ou maximiser) une fonction linéaire sous des contraintes également linéaires, ce qui, en pratique, permet de modéliser un grand nombre de situations.

Aux côtés de la programmation linéaire figure la théorie des graphes qui offre également des possibilités de modélisation très riches (plus courts chemins, flux de transports...). Ainsi, les graphes sont très fréquemment utilisés pour représenter un réseau mais leur utilisation dépasse largement le seul cadre de ces problèmes (le graphe de précédence en ordonnancement est un exemple parmi d'autres).

La programmation linéaire et les principaux algorithmes de graphes sont souvent enseignés dans les parcours mathématiques ou informatiques des universités et grandes écoles. Ils sont souvent complétés par d'autres notions théoriques comme la théorie de la complexité qui permet d'avoir une meilleure compréhension des problèmes qui peuvent être résolus efficacement.

Au-delà de ces concepts de base, de nombreuses autres techniques sont régulièrement utilisées par l'expert en RO, la plupart d'entre elles faisant l'objet de recherches actives. Ainsi, la programmation mathématique englobe les différentes généralisations de la programmation linéaire (fonction ou contraintes non linéaires, multi-objectif, stochastique, dimension infinie...).

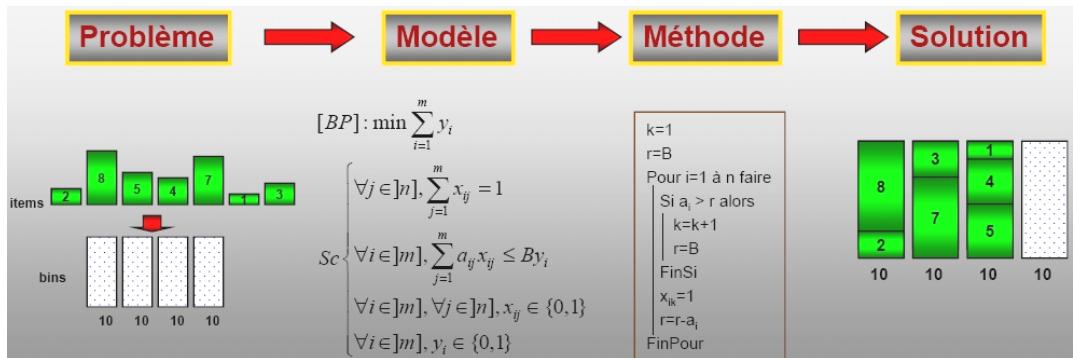


Figure 1 : Le « Bin Packing » ou comment utiliser le moins de boîtes possibles pour y loger des objets.

Le calcul informatique est nécessaire pour résoudre pratiquement, c'est-à-dire numériquement, les problèmes posés. Ainsi, la notion de temps de calcul est centrale dans le développement et la mise au point d'un algorithme de RO. Nous avons à ce titre déjà mentionné la théorie de la complexité. Cette dernière définit la classe des problèmes NP-difficiles à laquelle appartiennent la plupart des problèmes pratiques de la RO. Comme il semble peu probable de pouvoir résoudre efficacement ces problèmes de manière exacte, les informaticiens ont développé un grand nombre de méthodes permettant d'obtenir, en des temps de calcul raisonnables, de bonnes solutions à ces problèmes. Beaucoup de ces méthodes sont génériques même si, dans la plupart des cas, un travail conséquent est nécessaire pour mettre en œuvre de manière performante une telle méthode sur un problème donné.

Plusieurs bibliothèques logicielles, distribuées sous des licences libres ou commerciales, offrent aux experts en recherche opérationnelle des outils rapidement utilisables basés sur des algorithmes et implantations efficaces.

Ces bibliothèques sont dédiées soit à des problèmes mathématiques (comme la programmation linéaire ou les problèmes de graphes mentionnés ci-dessus), soit à des problèmes métiers (outil dédié à un problème de tournées ou un problème d'ordonnancement).

La connaissance des « problèmes métiers » est en effet la troisième composante à maîtriser pour le spécialiste de RO. Dans l'enseignement de la discipline, elle transparaît sous la forme d'une collection de problèmes qui viennent illustrer les mises en œuvre des techniques de modélisation ou de résolution algorithmique. Ces problèmes simplifient, parfois outrageusement, la réalité des problèmes rencontrés en pratique mais permettent de représenter les grandes classes de problèmes de référence et d'aiguiser les réflexions non seulement des étudiants mais également des chercheurs universitaires.

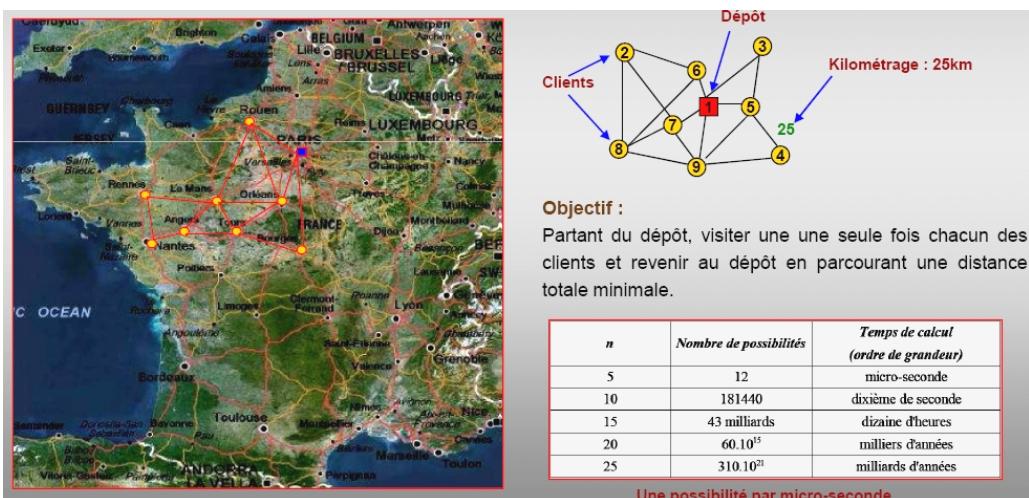


Figure 2 : Le « voyageur de commerce » doit visiter chaque ville mais minimiser la distance totale parcourue.

Ainsi, le problème du voyageur de commerce, qui consiste à trouver le plus court chemin passant une fois par chacune des villes données, est la vision épurée des problèmes de tournées de livraison ou de collecte. Plusieurs

décennies de recherche sur ce problème ont permis à la fois de résoudre de manière exacte des problèmes de taille très importante (quelques milliers de villes) mais aussi d'inventer de nouvelles techniques algorithmiques utiles pour la résolution de nombreux autres problèmes.

Mais, pour qu'une démarche de recherche opérationnelle soit mise en place dans un contexte industriel, la connaissance des contraintes métiers est primordiale pour construire un modèle capable de produire des solutions satisfaisant les « experts du métier » mais aussi, souvent, pour mettre en œuvre les algorithmes les mieux adaptés, par exemple lorsqu'il s'agit de décomposer le problème global. C'est pour cela que plusieurs grands groupes ont des cellules de recherche opérationnelle qui ont une bonne connaissance des techniques de recherche opérationnelle et des métiers du groupe ou que les sociétés de prestation en recherche opérationnelle consacrent beaucoup de temps à spécifier les problèmes avec leurs clients.

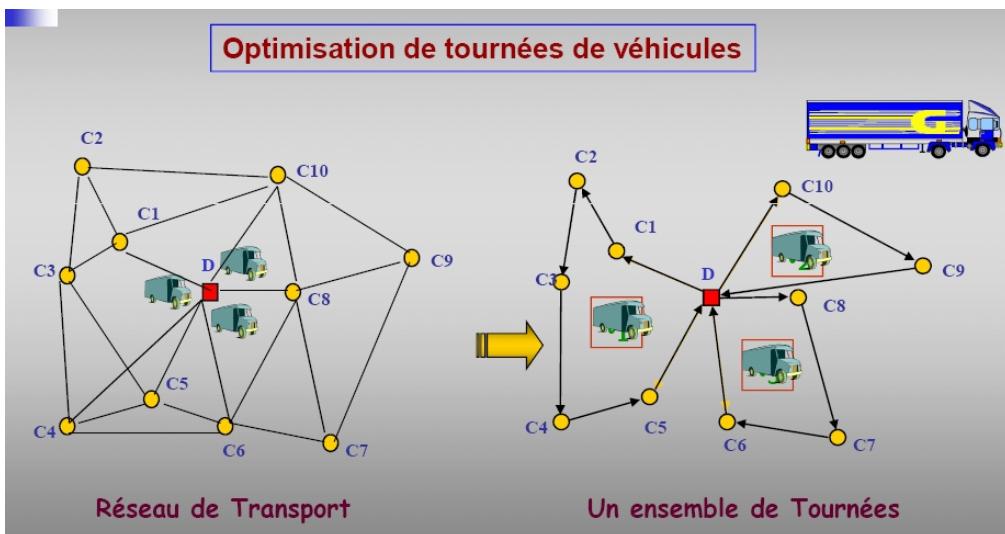


Figure 3 : L'« optimisation des tournées » ou comment couvrir un ensemble de commandes avec un nombre donné de camions et des contraintes horaires.

Toutes ces sources de connaissances se révèlent, à un moment ou à un autre, utiles pour la mise en place de méthodes et d'outils d'aide à la décision au sein d'une organisation. Elles ne sont bien sûr pas les seules car la RO, comme les autres disciplines scientifiques, a des liens forts avec les autres sciences, notamment pour bâtir des modèles et les alimenter en données fiables. L'expert ou le chercheur en RO, dans son travail quotidien, vise à améliorer un résultat théorique, la qualité d'une implantation informatique ou la pertinence d'un modèle métier mais tous les chercheurs opérationnels ont à l'esprit qu'une méthode ou une astuce de modélisation développée pour un modèle donné pourra être utilisée dans le cadre d'un autre problème. En d'autres termes, la recherche opérationnelle provient des applications et est destinée à ces applications.

Ce livre blanc est là pour illustrer ces propos en montrant les multiples facettes des applications et des métiers de la recherche opérationnelle en France. Les personnes qui y ont contribué sont toutes convaincues que la recherche opérationnelle peut, encore plus qu'elle ne le fait actuellement, aider et améliorer les prises de décision dans notre société. En présentant comment la recherche opérationnelle se vit dans les entreprises et comment elle contribue à l'amélioration de leur fonctionnement, nous espérons convaincre le lecteur de s'intéresser à cette discipline et surtout de la mettre en application.

OPTIMISER DES CRITERES
C'EST DE L'OPTIMISATION



OPTIMISER TOUS LES CRITERES
C'EST ...



LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE DANS LES ENTREPRISES

La recherche opérationnelle est largement utilisée par les entreprises françaises, mais avec des modes de fonctionnement et d'organisation très divers : certains grands groupes¹ ont des entités spécifiques, souvent rattachées à la R&D, destinées à traiter des problématiques de recherche opérationnelle comme l'amélioration de l'efficacité de la production ou de la qualité du service rendu aux clients. Très souvent, ces entités sont en contact étroit, d'une part avec le monde académique pour suivre les dernières évolutions des techniques d'optimisation, et d'autre part avec des SSII spécialisées dans la recherche opérationnelle et susceptibles de fournir des outils performants d'optimisation plus ou moins génériques. Les autres entreprises, en particulier celles de plus petite taille qui n'ont pas les moyens de maintenir de façon durable une expertise interne en recherche opérationnelle, font soit appel à ces SSII spécialisées² (ou à des laboratoires académiques) pour sous-traiter la résolution des problèmes de RO, soit achètent directement des logiciels « sur étagère » développés par des éditeurs informatiques³.

Même si la recherche opérationnelle est présente dans le monde industriel français, il est à noter qu'elle souffre encore parfois d'un manque de visibilité, et ce, pour deux raisons majeures : d'une part, le domaine scientifique étant vaste, il y a souvent des recoulements, des frontières communes avec d'autres domaines qui sont, dans certains cas, davantage mis en avant par telle ou telle entreprise. Dans ce cas-là, la recherche opérationnelle est présente mais est intégrée dans une structure plus vaste et a du mal à apparaître en tant que telle. D'autre part, l'utilisation de techniques, parfois très élaborées, pour traiter un problème d'optimisation nécessite parfois un processus de transfert complexe de la théorie vers la pratique. Une question récurrente – et tout à fait essentielle dans le monde industriel – concerne la gestion du compromis entre la qualité de solution requise, le temps nécessaire pour obtenir cette solution et la complexité des méthodes mises en œuvre.

¹AIR FRANCE, AIR LIQUIDE, BOUYGUES, EDF, FRANCE TELECOM, GDF SUEZ, GOOGLE, L'Armée de Terre, La Marine, LA POSTE, RENAULT, SNCF...

² ARTÉLYS, EURODECISION, EUROBIOS, FUTURMASTER, ROSTUDEL...

³ ALMA, AMADEUS, ATEJI, COSYTEC, EQUITIME, FICO, IBM—ILOG, OPTILOGISTIC, ORACLE, ORTEC, PERINFO...

Actuellement, les techniques de recherche opérationnelle sont utilisées par les entreprises à différents niveaux : à un niveau global, pour des problèmes d'aide à la décision concernant, par exemple, des investissements, des changements structurels, mais aussi à un niveau plus détaillé, pour des processus industriels complexes faisant intervenir des quantités importantes de ressources ou nécessitant une modélisation fine de mécanismes élaborés. Parmi les domaines industriels qui génèrent de nombreux problèmes de RO, on peut citer :

- les problèmes de transport, où il faut définir des réseaux et des plans d'acheminement pour des personnes, des marchandises, ou des ressources telles que l'énergie ou les communications,
- les problèmes de logistique et de traitement des stocks, où il faut séquencer des traitements (ordonnancement) de manière à minimiser les temps et les stocks intermédiaires,
- les problèmes de planification de l'utilisation des ressources, où il faut proposer des grilles horaires permettant de réaliser des tâches tout en respectant la législation du travail.

Les évolutions récentes de l'écosystème socio-économique ont fait émerger de nouvelles thématiques ou remis sur le devant de la scène des domaines sur lesquels la recherche opérationnelle pourrait apporter un éclairage et des outils d'optimisation :

- l'optimisation robuste s'est considérablement développée ces dernières années, comme une alternative à la programmation stochastique, pour prendre en compte de manière non empirique les incertitudes sur les données définissant les problèmes de recherche opérationnelle « classiques »,
- l'optimisation *on line* et distribuée qui doit permettre à des systèmes décentralisés de prendre des décisions rapidement (au fur et à mesure de l'arrivée de nouvelles demandes) et avec une connaissance partielle de l'environnement (la connaissance globale et en temps réel d'un système complexe est trop coûteuse à maintenir),
- l'optimisation au service de la fouille de données (*data mining*) et, inversement, l'intégration de la fouille de données pour le calibrage et la validation des modèles de RO,
- l'optimisation au service des modèles économiques et tarifaires, qui est un sujet certes très ancien mais dont les applications sont plus que

jamais indispensables pour mieux appréhender les grands équilibres des marchés et pour définir des modèles de tarification évolutifs et adaptés à la demande (*yield management*),

- l'aide à la décision collaborative, quand plusieurs acteurs/décideurs doivent se prononcer conjointement sur un problème qui se caractérise souvent par plusieurs critères (analyse multicritère).

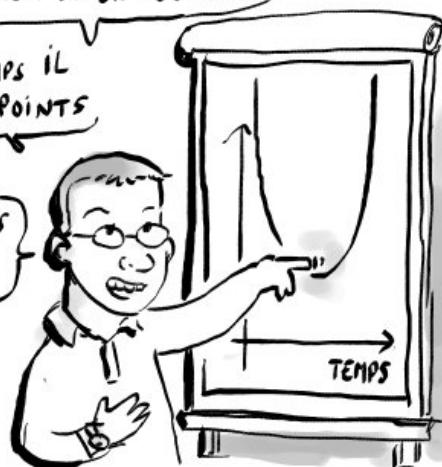
Il reste également de gros progrès à faire sur le transfert de l'expertise recherche opérationnelle sur les problématiques opérationnelles, c'est-à-dire comment utiliser au mieux des connaissances théoriques pointues pour résoudre un problème opérationnel dans des conditions opérationnelles (délais courts pour développer la méthode/l'outil, souvent temps et moyens de calcul limités, niveau de précision de la solution...).

Les freins encore souvent observés actuellement lors de la mise en œuvre de la recherche opérationnelle pour la résolution de problématiques industrielles pénalisent à la fois les industriels qui ne bénéficient pas pleinement de l'énorme potentiel de cette discipline, mais aussi le milieu académique, dont l'impact pratique des travaux de recherche n'est pas toujours reconnu à sa juste valeur.

Nous allons en rester là
c'est l'optimum de la réunion

moins longtemps il
manquait des points

plus longtemps
je m'endors



Dans ce chapitre, nous indiquons brièvement comment les grands intervenants industriels décrivent leur ***organisation*** pour obtenir des résultats probants en recherche opérationnelle. Dans le suivant, nous présenterons quelques ***réussites industrielles***, traduction française un peu modeste de l'américain « industrial success-stories ».

EDF

Que ce soit pour gérer les unités de production (placement des arrêts de tranches nucléaires, optimisation des choix de pose de protections biologiques), pour optimiser la production ou bien pour trouver de nouvelles flexibilités (problématiques combinées de gestion de la demande, de la production et du stockage), les **problèmes d'optimisation** sont de plus en plus complexes et déterminants dans les différents métiers du Groupe EDF.

Prenons le cas de l'optimisation de la production : développer les marges financières mais également maîtriser les nouveaux risques que présente l'ouverture des marchés de l'électricité constituent des enjeux cruciaux pour EDF. Or les outils actuels ne permettent pas d'y répondre. Il s'agit donc de **construire un nouveau référentiel méthodologique d'optimisation** du parc : l'optimisation est conduite aux horizons de temps du marché (gestion du parc et risques associés) et au-delà (choix du portefeuille d'actifs amont aval en Europe) ; elle intègre également les mécanismes de régulation (règles de marché, VPP, interconnexions, permis d'émission, mécanismes d'incitations...).

Pour répondre à toutes ces problématiques, les compétences optimisation/RO à EDF sont intégrées au sein de la direction Recherche et Développement (2 000 personnes), dans le **département OSIRIS** (Optimisation, Simulation, Risques et Statistiques pour les marchés de l'énergie). Elles reposent actuellement sur une soixantaine d'ingénieurs, plusieurs thésards et de nombreux stagiaires (stages longs ou de fin d'étude), dans un département qui compte au total 135 personnes environ.

Les objectifs et activités de ces ingénieurs peuvent être de différentes natures, en fonction des besoins exprimés par les clients (entités opérationnelles ou tête de Groupe) :

- objectifs/activités d'études (évaluations d'enjeux économiques lors de changements de modélisation, analyses technico-économiques d'investissements en moyens de production, de stockage...),
- objectifs/activités scientifiques (mises au point de méthodes mathématiques nouvelles, amélioration algorithmiques et méthodologiques des outils existants, partenariats universitaires, encadrements de thèses, publications dans des revues et conférences scientifiques, ...),
- informatique (développement de maquettes, prototypes et logiciels industriels, maintien en conditions opérationnelles des logiciels développés, support aux utilisateurs des entités opérationnelles, ...).

Les méthodes innovantes imaginées par les chercheurs en optimisation sont comparées systématiquement avec les processus opérationnels existants pour évaluer leur apport et l'impact de leur mise en œuvre. La valeur créée est validée par les commandites et intégrée dans les gains opérationnels dégagés par l'entreprise.

GDF SUEZ

Deux structures se partagent les activités de recherche opérationnelle au sein du groupe GDF SUEZ : le Centre d'Expertise en Études et Modélisations Économiques (CEEME) et le Pôle Optimisation, Statistiques, Sociologie et Simulation (PO3S).

Leurs missions consistent à réaliser des logiciels d'aide à la décision (modélisation, prototypage, industrialisation) et à produire des analyses économiques et stratégiques à destination de ses commanditaires des branches du groupe, qui financent les travaux réalisés. Cet effort vise un double objectif : satisfaire aux attentes des marchés en proposant des services améliorés et développer les technologies pour répondre aux enjeux de demain.

Le CEEME compte cent collaborateurs à Paris et à Bruxelles, dont environ quarante ont une formation en recherche opérationnelle. Il est rattaché à la *Direction de la Stratégie et du Développement Durable* de GDF SUEZ.

Parmi les domaines d'activités sur lesquels travaillent les membres du CEEME, on trouve notamment :

- les fondamentaux des prix des énergies ;
- la configuration, la valorisation et le développement de portefeuille d'actifs gaziers et électriques ;
- l'analyse économique des projets de développement et de désengagement ;
- la gestion de portefeuille d'actifs gaziers et électriques et le contrôle des risques associés ;
- la valorisation d'actifs contre le marché ;
- la modélisation des aléas de prix, de climat, de production et de consommation ;
- l'allocation des coûts et la régulation interne ;
- la planification de forages d'hydrocarbures ;
- la planification des émissions des terminaux méthaniers.

Le PO3S, quant à lui, fait partie du CRIGEN (Centre de Recherche et Innovation Gaz et Énergies Nouvelles), l'un des neuf centres de recherche de la *Direction Recherche & Innovation* de GDF SUEZ.

Pour répondre aux nouveaux enjeux énergétiques et environnementaux des infrastructures gazières, tout en respectant les contraintes de sécurité d'alimentation, de robustesse dans la conduite du réseau, les ingénieurs du PO3S formés à la recherche opérationnelle conçoivent et réalisent :

- des outils de simulation pour calculer la conséquence d'une situation et de choix préétablis (état du réseau, impact d'une décision d'exploitation ou d'un changement d'utilisation du réseau...),
- des outils d'aide à la décision pour offrir des solutions à un problème ouvert (détermination de capacités, de conditions limites d'exploitation du réseau, choix d'investissements...),
- des études pour répondre à des problématiques ponctuelles d'exploitation du réseau,
- des méthodes pour réaliser des études nouvelles, paramétrier les outils (études de transfert de flexibilité, calcul des pressions disponibles),
- des modèles et des analyses pour comprendre les phénomènes, les ordres de grandeur, les paramètres impactant le comportement dynamique du réseau.

FRANCE TELECOM

Les Orange Labs forment le réseau mondial d'innovation du Groupe France Télécom – Orange. Au sein de ce réseau, la R&D utilise depuis longtemps la recherche opérationnelle et l'optimisation. Toute une expertise s'est développée autour de cette discipline appliquée au domaine des télécommunications.

Ces compétences sont abritées au sein d'un programme de recherche en optimisation des réseaux et d'aide à la décision organisé en projets de recherche. Les contributeurs proviennent d'équipes réparties sur l'ensemble des sites de R&D. On dénombre une vingtaine de permanents et une dizaine de doctorants par an. Ces derniers se consacrent à leur sujet de recherche sous la responsabilité d'un chercheur confirmé, en partenariat avec une université ou institution académique. L'activité des permanents est répartie entre la veille, l'anticipation des besoins futurs, les techniques de recherche opérationnelle et le développement en réponse aux besoins court terme des opérationnels.

Depuis l'époque du CNET, la R&D du Groupe s'est attachée à étudier, modéliser et résoudre des problèmes d'optimisation de réseaux, concevoir la topologie d'un réseau, dimensionner les capacités, router les demandes pour les satisfaire au meilleur coût et avec une bonne qualité de service.

Le domaine des télécommunications est en constante évolution. Les enjeux économiques et sociaux concernent tous les secteurs d'activités, de la santé à la production de biens et services. Le développement continual de la technologie et l'introduction de nouveaux services dans un secteur libéralisé génèrent sans cesse de nouveaux problèmes d'optimisation (spectre de fréquences, gestion ressources radio, accès et planification des réseaux mobiles, haut débit, virtualisation, gestion des données, etc.) pour lesquels la recherche opérationnelle est essentielle. Elle permet de comprendre et appréhender ces problèmes et de leur apporter des solutions appropriées.

L'expertise acquise est appliquée aux applications court terme des unités opérationnelles. La contribution au développement de nouvelles méthodes et techniques est le résultat de partenariats de recherche au travers de projets collaboratifs profitant de l'écosystème académique et industriel. En plus des publications ou de présentations dans des conférences, les experts d'Orange Labs R&D en recherche opérationnelle mettent leurs compétences au service de comités scientifiques et d'évaluation de projets ou d'articles.

GOOGLE

Au sein du département recherche de Google, l'équipe de recherche opérationnelle valorise son expertise en optimisation combinatoire par le développement d'applications internes et de librairies *open source*, ainsi que par une activité de conseil auprès des autres équipes. L'équipe de recherche opérationnelle, créée en 2008 par Laurent Perron, compte aujourd'hui sept membres répartis sur les sites de Paris et de Mountain View en Californie.

Les applications internes couvrent un large éventail de problématiques allant du dimensionnement de réseaux à la planification de tournées en passant par l'ordonnancement et le « supply chain ». En pratique les problèmes résolus sont de taille importante, comprenant souvent plusieurs dizaines de milliers de variables, et plus contraints que les classiques de la littérature. En effet bien souvent de nombreuses contraintes additionnelles viennent se greffer, par exemple les problèmes de « bin-packing » doivent prendre en compte des conflits entre items, de nombreuses dimensions, des contraintes sur les déplacements entre « bins »... mais aussi équilibrer l'utilisation des « bins » par dimension.

Afin de répondre à une telle diversité de thématiques, plusieurs technologies sont mises en œuvre : la programmation par contraintes, la programmation linéaire en nombres entiers ou non, la recherche par voisinage ainsi que de nombreux algorithmes dédiés. De même plusieurs méta-heuristiques telles que la recherche tabou ou le recuit simulé sont utilisées.

La majeure partie du code est actuellement disponible en *open source* sur <https://code.google.com/p/or-tools/> sous licence Apache 2.0, et peut ainsi être utilisée pour des projets externes que ce soit au niveau académique ou industriel.

En plus de cette contribution *open source*, l'équipe de recherche opérationnelle travaille en étroite collaboration avec la communauté scientifique française notamment par le financement de plusieurs bourses de recherches sur des problématiques aussi diverses que le « bin-packing » ou l'ordonnancement.

LA POSTE

Au sein de la Direction Industrielle et des Grands Programmes de la Direction du Courrier du groupe La Poste, la Direction Technique du Courrier (DTC), forte de plus 500 personnes réparties sur deux sites principaux ainsi que sur neuf antennes territoriales a pour mission d'apporter son expertise technique à la conception, au déploiement et à la maintenance des systèmes techniques du réseau de production courrier.

Parmi ses nombreux domaines d'intervention, la DTC a développé un savoir-faire en termes de modélisation, simulation et optimisation des processus de production. Cette activité en place depuis 1995 s'est orientée ces dernières années vers deux aspects essentiels du réseau logistique courrier : l'optimisation du tri et l'optimisation du transport.

On trouvera dans le chapitre des réussites industrielles deux exemples d'intégration des techniques d'optimisation au sein d'outils dédiés.

RENAULT

Le pôle d'expertise optimisation est représenté par une équipe de trois personnes et travaille pour les domaines du commerce, de la logistique et de la fabrication depuis le début des années quatre-vingt-dix. Nous utilisons les techniques de la recherche opérationnelle pour traiter des problématiques d'optimisation combinatoire.

Le pôle est rattaché à la direction de l'informatique RENAULT (DSIR). Il fait appel aux ressources des départements développement pour mener les projets, n'assurant en propre que les développements du moteur d'optimisation. La maintenance des applications est transférée aux équipes tierce maintenance en France ou en Inde. Les évolutions sur le noyau d'optimisation (généralement, la partie la plus stable des SI) restent du ressort du pôle d'expertise.

Les membres du pôle d'expertise ont un statut d'expert et se voient accorder une grande autonomie pour développer leur expertise. Ce statut d'expert (présent dans d'autres secteurs de l'entreprise) permet de valoriser des parcours professionnels dans une filière autre que managériale.

Quelle est la mission du pôle d'expertise ?

Il ne s'agit pas d'« inventer » de nouveaux algorithmes d'optimisation, tant ils sont déjà nombreux dans la communauté scientifique de la recherche opérationnelle ! Il s'agit plutôt de trouver les « bons » algorithmes pour traiter les problématiques du commerce et de la logistique chez RENAULT, et de les mettre en œuvre efficacement, c'est-à-dire les adapter à nos problématiques et les implémenter de manière performante en temps de réponse.

Notre activité se situe principalement dans les phases amont des projets SI, et consiste à prototyper les algorithmes d'optimisation pour valider leur pertinence à résoudre les problématiques opérationnelles. Ce prototypage permet de valider les points fondamentaux que sont :

- les temps de réponse de l'outil,

- les interactions entre l'utilisateur et le système, car le processus métier évolue fortement avec l'arrivée de l'application d'optimisation, souvent perçue comme une « boîte noire » mystérieuse !
- le niveau de maîtrise par les opérationnels de la complexité de l'outil,
- les évolutions indispensables dans le processus métier pour bénéficier pleinement des apports du futur outil.

En sus du savoir-faire en optimisation combinatoire, la connaissance des métiers de nos clients et des systèmes d'information du commerce et de la logistique, ainsi que la capitalisation au fil des projets, nous ont permis de concevoir des solutions plus économiques et mieux adaptées aux besoins de nos clients que les progiciels du marché.

Les bénéfices clients

Le recours à l'optimisation engendre des gains tant qualitatifs que quantitatifs auprès des métiers :

- gains quantitatifs, quand l'optimisation permet de réduire les consommations de solvants en chaîne de peinture.
- gains quantitatifs, lorsque l'optimisation permet de réduire le nombre de camions utilisés pour les transports de pièces.
- gains qualitatifs, quand l'optimisation permet de construire des demandes de fabrication « réalistes » pour les usines, évitant ainsi les reports de fabrications en usine pour cause de non respect des capacités.
- gains qualitatifs encore, lorsque l'optimisation permet de raccourcir le cycle de planification commerciale et industrielle, et d'améliorer ainsi la réactivité de l'entreprise face aux aléas du marché.

Enfin, un outil d'optimisation est souvent un aiguillon pour revoir les processus métiers et pour fiabiliser les bases documentaires, car la pleine efficacité de l'outil d'optimisation dépend directement de l'adéquation des processus métiers et de la fiabilité des données en entrée.

BOUYGUES

Le e-lab est l'équipe de recherche et développement de Bouygues SA, société mère du groupe Bouygues. Rattachée à la direction générale informatique et technologies nouvelles, cette équipe a vocation à réaliser des projets d'innovation et d'optimisation avec les métiers du groupe (TF1, Bouygues Telecom, Bouygues Immobilier, Bouygues Construction et Colas). Ses membres (une dizaine de docteurs et ingénieurs) passent plus de la moitié de leur temps sur des projets financés par les filiales, ou par des clients externes, et conduisent une activité de recherche en informatique scientifique. En résumé, le e-lab est à la fois une équipe de recherche, une société de service et une direction de l'innovation.

L'activité d'optimisation du e-lab couvre l'optimisation de ressources, l'aide à la décision et l'analyse de données et de processus, c'est à dire les thèmes qui relèvent de la Recherche Opérationnelle. Sur ces thèmes, les experts du e-lab réalisent des études, des prototypes ou des logiciels pour les différentes filiales du groupe. Par exemple le e-lab a étudié le processus d'affichage des bannières publicitaire de type "shopping-box" sur les sites internet gérés par TF1 publicité, afin de proposer un algorithme de sélection du produit à afficher pour maximiser la probabilité de clic de l'internaute. L'équipe a également réalisé un logiciel sur mesure pour déterminer le *planning* optimal de la maintenance à effectuer sur 500km de routes à Portsmouth, dans le cadre de la réponse à un appel d'offre pour un partenariat public-privé de 500M€ sur 25 ans (remporté par Colas en 2004). Plusieurs logiciels de planification ont également été développés pour le groupe, par exemple :

* la planification des mouvements de terre sur les chantiers linéaires de DTP Terrassement. Ce problème est une extension d'un des tous premiers problèmes de recherche opérationnelle introduit par Monge

en 1781 dans son *Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais*. Dans notre cas, il s'agit de planifier des ressources réalisant des mouvements de terre entre des ouvrages placés sur un axe linéaire pendant plusieurs mois (soit jusqu'à 2000 mouvements de terre avec une trentaine d'engins de terrassement).

* la planification des conseillers de clientèle des centres d'appels de Bouygues Telecom⁴ de façon à respecter les contraintes d'horaires de travail et de préférences des salariés tout en assurant la présence d'un nombre adéquat de conseillers à tout moment, en fonction des prévisions de nombre d'appels.

* l'optimisation du remplissage des écrans publicitaires de TF1 lors de chaque « ouverture de planning », c'est-à-dire l'affectation optimisée de quelques dizaines de milliers de spots publicitaires dans environ 5000 écrans, pour un volume global de plusieurs centaines de millions d'euros tous les deux mois.

Une des forces de notre équipe est de combiner des compétences en informatique et en recherche opérationnelle, nous permettant de développer des algorithmes puissants et fiables, utilisables dans des environnements de production.

⁴un outil acquis depuis pour deux millions de dollars par Genesys, filiale d'Alcatel, aujourd'hui numéro un mondial du logiciel pour centre d'appel

La SNCF

Le centre de compétences en recherche opérationnelle de la SNCF se trouve à la direction de l'Innovation et de la Recherche (I&R) dans le département SRO (services, réseaux, optimisation). Deux des quatre groupes de ce département étudient des thématiques relevant directement de la recherche opérationnelle et de l'aide à la décision.

Le groupe « Optimisation de la capacité et de l'exploitation » est en charge de projets liés à la circulation des trains, de la conception des plans de transport au suivi temps réel des trains. Le groupe « Planification des ressources » (il s'agit de ressources humaines ou matérielles) développe des outils de planification à long ou court terme. Les principaux problèmes étudiés concernent l'utilisation et la maintenance des engins et de l'infrastructure ferroviaire.

Ces deux groupes travaillent en synergie, plusieurs projets relevant simultanément des deux thématiques. Ils comprennent au total une douzaine de personnes dont trois thésards CIFRE. Elles ont toutes une formation initiale d'ingénieur et/ou de docteur avec une spécialisation en recherche opérationnelle, algorithmique, statistiques, simulation.

Leurs objectifs sont déclinés en projets au sein d'un programme de recherche. Les chercheurs SNCF pilotent ces projets. La maîtrise d'ouvrage (représentation du « client interne ») est assurée soit par le service ayant identifié le besoin, soit par la direction I&R pour les sujets plus prospectifs.

Les projets visent au développement de prototypes logiciels, accompagnés d'études bibliographiques, d'élaborations d'algorithmes, de constructions d'instances de tests et de démonstration. Étudiants, thésards, stagiaires et prestataires extérieurs peuvent contribuer à ces projets.

Le prototype, une fois validé par la maîtrise d'ouvrage, est transféré à la direction des systèmes d'information qui en assure la maintenance et les évolutions (intégration au SI en particulier). Une cellule spécifique existe à la

direction des SI pour cette industrialisation des projets de recherche.

Les chercheurs de la direction I&R assurent aussi une veille technologique et participent à l'animation du réseau scientifique et technique de la SNCF dans le but de faire émerger de nouvelles problématiques. Ce réseau d'experts a été officialisé au sein de l'entreprise fin 2009. Parmi les domaines d'expertise mis en avant figurent « la recherche opérationnelle et l'optimisation mathématique. »

AIR FRANCE

L'histoire de la recherche opérationnelle au sein d'AIR FRANCE débute avec la création, il y a cinquante ans, d'un département spécifique, sous la responsabilité de Jacques Agard. AIR FRANCE fait alors figure de pionnière dans l'industrie. Avant cela, des méthodes quantitatives étaient déjà utilisées dans la planification des rotations des vols ou des équipages, mais la création d'un département dédié, centralisant l'expertise et les compétences de la recherche opérationnelle et qui en porte le nom est une décision forte, une reconnaissance de ce que peut apporter la discipline dans la gestion de la complexité de l'activité de transporteur aérien. Tout démarre avec une équipe jeune, dynamique, motivée par des sujets et des intérêts transverses, dont l'activité finira par couvrir l'ensemble des domaines au service des métiers de la compagnie. Cet esprit reste celui qui caractérise le département.

Chez AIR FRANCE, l'objectif du groupe de recherche opérationnelle est d'aider les métiers de la compagnie dans la gestion de leur activité lorsque celle-ci est complexe et nécessite des outils ou une expertise avancée en modélisation mathématique et en calcul. À l'échelle du groupe AIR FRANCE KLM, dans un environnement compétitif où l'innovation commerciale et l'efficacité logistique donnent l'avantage, les besoins et les applications sont nombreux dans tous les domaines. Le groupe AIR FRANCE KLM assure plus de 1600 vols par jours qui permettent de connecter entre elles environ 250 destinations au travers des hubs de Roissy et de Schipol. Il faut pouvoir tarifer, gérer et vendre une offre de plusieurs millions de voyages possibles, gérer un flux quotidien de 200 000 passagers et leurs bagages, planifier les milliers d'équipages, la maintenance d'environ 600 avions, en tenant compte des règlements de l'aviation civile, des contrats de travail, des « qualifications avions », des désidérata, mais aussi d'aléas importants comme l'absentéisme, les retards, les annulations et les aléas extérieurs à la compagnie. C'est un immense champ d'applications pour la recherche opérationnelle dont les compétences sont connues par tous les métiers.

Pour cela, une équipe d'une trentaine de jeunes spécialistes sont regroupés au sein du département de recherche opérationnelle. Ils interviennent sur trois types de mission, la première étant le développement dans le cadre de projets informatiques de moteur d'optimisation ou de calculs statistiques. Plus de trente moteurs ainsi développés sont actuellement intégrés au système d'information et sont maintenus par les équipes de la RO. Ce sont par exemple ceux qui élaborent les plannings des personnels navigants mais aussi le moteur d'affectation et de régulation des points de parking avion, celui de prévision du trafic passager. Par ailleurs en 2010, certains grands projets du groupe incluant des développements de moteurs d'optimisation sont en cours, comme le projet Karma dont l'objectif est de mettre en place un nouveau système de Revenue Management pour le groupe AIR FRANCE KLM.

Le deuxième type de mission est la participation aux études d'opportunité, soit pour répondre à des questions d'organisation des métiers, soit avant le lancement définitif d'un projet informatique. Les compétences en calcul quantitatif sont alors mises à profit pour simuler l'impact d'un changement de processus, ou pour simuler les gains avant la mise en place de nouveaux outils d'aide à la décision. Les prototypes développés dans ce cadre sont également souvent utilisés en opérationnel afin de réaliser une partie des gains avant même la mise en place définitive d'outils plus industrialisés.

Le dernier type de mission est d'assurer une veille technologique et fonctionnelle. Il s'agit, en interne, d'être à l'écoute des différents métiers afin de répondre au mieux à leurs besoins. Il s'agit aussi de connaître ce qui se fait dans l'industrie, savoir se positionner face à la concurrence, pouvoir identifier des axes d'innovation fonctionnelle ou d'amélioration des performances techniques.

SFR

Au sein de SFR, l'entité recherche opérationnelle s'intitule « Modélisation et Analyse Réseau ». Ses missions sont de servir de coordinateur entre les entités marketing et technique sur les capacités de production via un document contractuel transverse de prévisions de trafic à court-moyen terme, de piloter la gestion de ce contrat, d'outiller des problématiques d'aide à la décision connexes liant investissement réseau et comportement client (résiliations de contrats, amélioration de la qualité de service, rentabilité des investissements, couverture UMTS...).

Le service s'appuie sur quelques emplois permanents, stagiaires et prestataires externes. Les profils sont axés autour de la recherche opérationnelle, l'économétrie, l'informatique et les statistiques. Les compétences utilisées sont la modélisation mathématique (optimisation, statistique), le décisionnel (bases de données client et production) et la compréhension des métiers de l'entreprise (télécommunications, marketing)

Le service est rattaché aux directions marketing (qui décide des investissements), stratégie (qui les hiérarchise) ou technique (qui les réalise). Son responsable est positionné en N-2 d'un membre du Comité Exécutif.

L'entité est propriétaire du processus de prévisions de trafic ; sur les sujets connexes, l'équipe est positionnée comme support. Les livrables aux autres entités sont le plus souvent des études, plus rarement des modèles d'aide à la décision ; cela permet d'avoir un processus de développement et de maintenance totalement interne à l'équipe.

Le nombre de sujets récurrents traités par l'équipe est de l'ordre du nombre de thématiques métiers différentes (une dizaine), souvent revisités semestriellement. Certains ont une portée de planification stratégique, d'autres ont une portée opérationnelle directe. Le portefeuille d'investissement annuel impacté est de l'ordre de quelques centaines de millions d'euros ; on peut estimer que le gain économique lié à l'activité

approche les 5 % de ce portefeuille en moyenne (par rapport à une gestion non optimisée avec des outils spécifiques). Le ratio entre ce gain et le coût total de l'activité est de l'ordre de la dizaine.

La mise en route d'un nouveau sujet coûte environ 4 à 5 mois-homme pour arriver à un stade de pilotage maîtrisé, et environ une année-homme pour obtenir une gestion optimisée. L'équilibre entre le développement et la maintenance, le défrichage de nouveaux sujets et la réalisation d'études récurrentes (production) se fait à peu près à parts égales.

AIR LIQUIDE

La mission du Pôle recherche opérationnelle d'AIR LIQUIDE est de développer et de déployer à travers le monde des outils d'aide à la décision. Les domaines couverts sont variés : organisation de tournées de camion, planification de production logistique, gestion de stock, achat d'énergie.

L'objectif des activités de recherche opérationnelle est d'améliorer la compétitivité du groupe. Les outils développés visent à soutenir les prises de décisions par des techniques quantitatives et à homogénéiser les pratiques.

Les projets sont portés au niveau mondial par 3 départements :

- Une direction industrielle mondiale qui identifie le besoin, sponsorise les projets et est responsable du déploiement des outils
- La R&D qui spécifie le problème d'optimisation et développe la solution d'optimisation
- Le département informatique industriel qui intègre la solution dans les bases de données et développe une interface graphique adaptée au besoin.

Ces trois départements situés en France et aux États-Unis collaborent de manière étroite, en partenariat avec les utilisateurs finaux du monde entier. En 2011, plus de 25 personnes contribuent à un niveau mondial aux projets de recherche opérationnelle. À un niveau local, le réseau d'utilisateurs et de décideurs représentent une centaines de personnes.

Les équipes de recherche opérationnelle s'appuient sur un réseau de partenaires externes mondial : collaborations académiques (thèses, groupe de travail ou contrats) et industrielles (achats « d'outils sur l'étagère », prestation d'expertise, développements spécifiques)

Deux spécificités sont à noter :

- la compétence recherche opérationnelle n'est pas isolée. Les ingénieurs, experts et responsables de projet appartiennent à des équipes aux compétences élargies. Par exemple, l'équipe Recherche Opérationnelle en R&D travaille sur des thématiques autour de l'information : mesure, prévision, diagnostique. Un projet de recherche opérationnelle peut inclure une composante mesure : élaboration et déploiement d'une méthode de mesure qui assure une qualité de données d'entrée, une composante prévision : développement d'outils de prévision de consommation clients ou diagnostique : élaboration d'indicateurs indiquant la pertinence des modèles et des données ;
- les projets portés par le groupe visent à développer des outils pour l'ensemble des pays dans lesquels AIR LIQUIDE est présent. Les projets de recherche opérationnelle sont internationaux et nécessitent une convergence.

D'INCONTESTABLES RÉUSSITES

Nous présentons des textes écrits par des industriels décrivant plus d'une vingtaine d'applications réelles. La recherche opérationnelle, quand elle est pratiquée dans l'industrie, ne reste pas une discipline de laboratoire ou de bureau d'étude. Il s'agit bien d'une recherche pour les opérationnels !

EDF – Apogée Lissage

Problématique générale

À chaque instant, la quantité d'énergie injectée sur le réseau électrique doit être égale à l'énergie consommée. Chaque acteur du système électrique se doit donc d'assurer l'équilibre entre la consommation de ses clients et la production de ses centrales. Afin d'assurer cet équilibre, EDF réalise chaque jour pour le lendemain une prévision de la consommation de ses clients et doit ensuite construire des programmes de production pour chacune de ses centrales.

L'élaboration de ces programmes de production est à la fois un enjeu économique majeur et un défi mathématique immense. Le parc de production d'EDF est en effet constitué de 58 tranches nucléaires, environ 30 centrales thermiques classiques (charbon, gaz, fioul) et 450 usines hydrauliques interconnectées en une cinquantaine de vallées. La variation temporelle de la consommation nécessitant une programmation semi-horaire et les contraintes dynamiques du parc de production impliquant de nombreuses décisions binaires, c'est à un problème d'environ 500 000 variables, dont une majorité discrètes, et 2 000 000 de contraintes qu'une formulation en programmation linéaire mixte conduirait !

L'approche utilisée par EDF pour résoudre ce problème est donc, depuis de nombreuses années, basée sur des techniques de décomposition.

Jusqu'en 2002, le problème hydraulique et le problème thermique étaient traités dans deux outils différents. Mais dès 1989, le développement d'un nouvel outil d'optimisation du parc a été mis à l'étude. En étroite collaboration avec l'INRIA, le CERMICS (ENPC Paris Tech), et des chercheurs de l'ENSTA, de nombreux progrès ont été faits au cours des années quatre-vingt-dix.

Les principaux défis à relever ont été de trouver les modélisations et algorithmes optimaux pour chacun des moyens de production, de mettre au point des méthodes de coordination permettant d'obtenir une convergence rapide et de transformer le processus d'élaboration des programmes des centrales afin qu'il puisse recueillir le fruit des avancées logicielles.

L'outil actuel, mis en service en 2002, est donc le fruit d'un investissement sur dix ans de chercheurs d'EDF R&D d'une part, et de collaborations avec le monde académique d'autre part. Cet investissement, bien que conséquent, fut rentable dès les premiers mois d'exploitation de l'outil, puisqu'il est estimé que l'économie réalisée sur les programmes de production, de l'ordre de 1 % du coût de production, est de plusieurs millions d'euros par an.

Chaque année, les améliorations apportées aux différentes modélisations permettent d'une part de gagner du temps dans l'élaboration des programmes, grâce à une meilleure représentation des contraintes des ouvrages, et d'autre part de dégager de nouveaux gains à chaque fois bien supérieurs à l'investissement correspondant. Fin 2008, l'intégration d'un post-traitement dans l'optimisation a ainsi permis de réduire d'un tiers le temps de la phase d'ajustement des résultats aux contraintes réelles et de dégager 10 millions d'euros par an.

Principes de l'outil Apogée Lissage.

Dans une première phase du calcul, la contrainte d'équilibre entre la consommation et la production est dualisée, ce qui permet de décomposer le problème. Chacun des sous-problèmes correspond à une centrale thermique ou une vallée hydraulique. Les centrales thermiques sont traitées par programmation dynamique et les vallées hydrauliques par programmation linéaire. La maximisation de la fonction duale est quant à elle effectuée à l'aide d'une méthode de faisceaux. Malheureusement, en raison de la non convexité des coûts des moyens de production, la maximisation de la fonction duale ne fournit pas de solution primale. De cette première phase, seuls les multiplicateurs de Lagrange et le maximum de la fonction duale sont conservés pour la suite.

Dans une seconde phase, une décomposition du problème basée sur un lagrangien augmenté linéarisé à l'aide du principe du problème auxiliaire permet de converger vers une solution primale approchée. Dans cette phase, les contraintes d'intégrité portant sur les usines hydrauliques, qui avaient été relâchées lors de la première phase, sont intégrées. Cette prise en compte est réalisée en projetant à chaque itération, à l'aide d'une programmation dynamique, la solution du problème linéaire sur l'ensemble admissible.

Cet outil est utilisé quotidiennement.

ARTELYS – Energy Planner

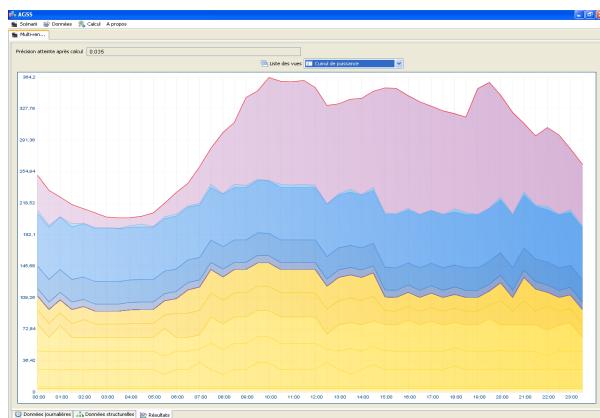
L'accroissement des coûts des énergies et l'importance accrue de l'impact environnemental rendent nécessaire l'optimisation fine et performante de la gestion des systèmes énergétiques. Il devient essentiel de déterminer les meilleurs plans de gestion à court terme respectant l'ensemble des contraintes environnementales et satisfaisant la demande prévue. Il s'agit d'une tâche complexe devant être effectuée une ou plusieurs fois par jour et toujours dans des délais très courts.



EDF gère la production et la distribution de l'électricité dans les îles françaises : Corse, Guadeloupe, Martinique, Réunion et Guyane. EDF est constamment à la recherche des techniques d'optimisation les plus pointues pour réduire les coûts et l'impact environnemental de la production d'électricité dans ces îles et améliorer la qualité de service (diminution du nombre de coupures, stabilité du réseau en cas de panne). Artelys avec sa forte expérience dans la conception et la mise en œuvre de logiciels d'optimisation de niveau industriel et une solide connaissance du domaine de l'énergie, a développé *Artelys Energy Planner*, une plate-forme d'optimisation avancée pour la planification de la production à court terme. Dans le cadre d'un partenariat entre EDF et Artelys, il a été décidé de créer un nouvel outil d'optimisation des plans de production de court terme des petits systèmes énergétiques basé sur cette plate-forme logicielle qui a été améliorée et configurée pour répondre aux besoins des centres de dispatching des îles françaises.

Même si la taille des problèmes reste raisonnable (une vingtaine de groupes thermiques classiques charbon et fioul, et quelques groupes hydrauliques), la

prise en compte de toutes les contraintes techniques et environnementales rend le problème complexe. Le modèle d'optimisation comprend, en particulier, une contrainte de satisfaction exacte de la demande, des contraintes couplantes pour garantir une durée de fonctionnement minimale, des variables binaires de démarrage et des courbes de rendement linéaires par morceaux modélisées par des variables binaires pour chaque plage de rendement. Un travail d'approfondissement du modèle a été effectué en vue de trouver des coupes renforçant le modèle et améliorer ainsi la résolution. Le modèle est résolu de manière exacte avec le logiciel Xpress-MP avec une précision donnée, de manière à garantir le meilleur compromis entre temps de résolution et qualité du résultat. La résolution ne prend que quelques minutes de temps de calcul, ce qui est très appréciable pour les utilisateurs qui doivent répéter cette opération plusieurs fois par jour lorsqu'un changement impactant le plan de production intervient (perte d'un groupe, ajustement de la consommation...).



L'outil final dénommé GESPROD est à la fois ergonomique (aperçu d'écran ci-dessus) et sophistiqué. Il permet de renseigner toutes les contraintes métier et de simplifier la saisie des données, en particulier celles qui doivent être changées chaque jour ou en cours de journée. Une attention particulière a aussi été apportée aux écrans de résultats afin d'en faciliter la visualisation et l'exploitation.

Artelys et EDF ont également collaboré pour fournir des formations dédiées aux utilisateurs finaux.

GDF SUEZ – PANDA TRIO : comment investir sur les réseaux gaziers ?

Matérialiser le métier dans un logiciel d'aide à la décision

PANDA est un logiciel d'aide à la décision pour le dimensionnement des réseaux régionaux de transport de gaz. C'est le fruit d'un travail de collaboration sur plusieurs années entre des ingénieurs d'études de GRTgaz, la filiale transport de GDF SUEZ, et des ingénieurs de recherche du CRIGEN, Centre de Recherche et d'Innovation pour le Gaz et les Énergies Nouvelles du groupe. Ce « groupe de travail dimensionnement » a permis d'associer des compétences métiers propres aux réseaux de transport de gaz avec des compétences de mathématiques appliquées du Pôle Simulation Optimisation pour produire en 2008 PANDA TRIO l'outil de référence de GRTgaz pour la planification des investissements en régions.

GRTgaz élabore chaque année un plan d'investissement sur les réseaux de transport pour accompagner l'évolution des consommations. Pour livrer le gaz à de nouveaux clients en respectant les conditions contractuelles, les réseaux doivent être renforcés. Renforcer, c'est poser de nouvelles canalisations en parallèle de canalisations existantes pour accroître la capacité du réseau. Cette problématique concerne notamment les réseaux de transport régionaux (cf. encadré), constitués essentiellement de canalisations et de vannes de régulation.

Un premier prototype est testé et validé en 2004 et conduit à une première version industrielle de l'outil PANDA, qui sert à établir les plans de développement 2005 des réseaux régionaux dans une partie des régions. Les versions suivantes intègrent la notion de modulation et modélisent les vannes d'isolement et les stations de compression avec l'ambition à terme de dimensionner le réseau national. Les ingénieurs d'études en région dimensionnent leurs réseaux pour les années futures à partir de prévisions de consommation pour plusieurs scénarios climatiques froids. Cela nécessite de sélectionner des renforcements de canalisations pertinents, les diamètres de pose des nouveaux tubes, et les dates de pose, tout en minimisant le coût de la démarche globale. La difficulté vient de la multiplicité des solutions possibles sur des réseaux de plus en plus maillés, et de la prise en compte de

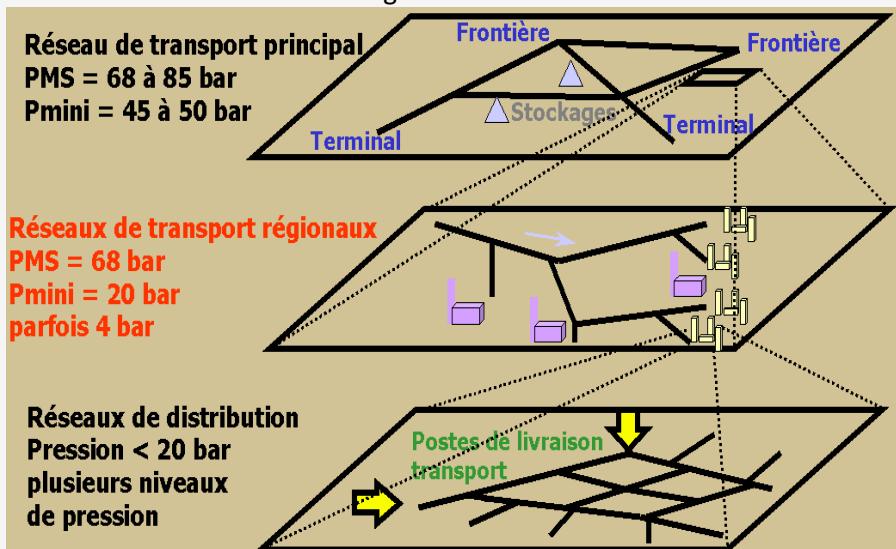
multiples scénarios sur les valeurs des consommations liées au niveau de température.

Typologie des réseaux de gaz français

Les réseaux du territoire national se décomposent en deux niveaux :

- les réseaux de transport (national et régionaux) de GRTgaz et les réseaux de distribution de GrDF.
- les réseaux de transport régionaux, longs de 23 000 km, sont alimentés par le réseau national et fournissent du gaz aux réseaux de distribution publique ainsi qu'aux grands industriels. Ils sont généralement ramifiés, avec peu de bouclage (maille) et ne comportent pas de compression intermédiaire. Les diamètres de canalisations sont compris entre 80 et 600 mm.

L'objectif de PANDA consiste à minimiser les coûts actualisés de renforcement de ces réseaux régionaux.



En 2007 sont introduites la prise en compte du double risque climatique et les méthodes de réoptimisation. La solution de renforcement proposée par le logiciel garantit la désaturation du réseau quel que soit le scénario de consommation prévu. Les algorithmes génétiques offrent une approche

alternative au « branch and bound » pour améliorer le choix des diamètres de pose en des temps de calcul plus courts. À cela s'ajoute une méthode exacte de dimensionnement des réseaux arborescents.

GRTgaz lance alors le projet TAO intégrant tous les outils de calcul de réseaux de la filiale au sein d'un unique environnement de travail. Développée en C++, avec un cœur de calcul consolidé et amélioré et une utilisation plus flexible, l'application devient PANDA TRIO.

Un mode opératoire en quatre étapes pour dimensionner les réseaux

La démarche adoptée dans PANDA suit la logique métier de l'ingénieur d'études tout en lui conférant plus de souplesse et des moyens de calculs performants. Elle se décline en quatre étapes : déterminer un panier de canalisations ; optimiser ce panier en choisissant les meilleurs diamètres ; proposer un échéancier de pose année par année de ces canalisations ; vérifier la faisabilité de la solution. En voici un exemple :

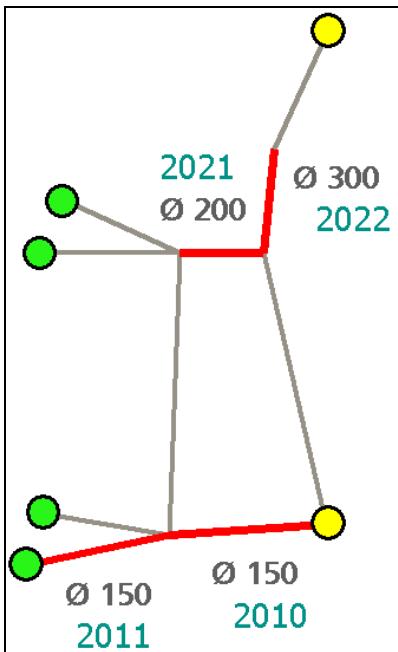
N°CANA	Diamètre discret (mm)	Coûts bruts (kEuros)	Années de pose	Coûts actualisés (kEuros)
20000	250	42 200	2037	4 194
20002	600	50 100	2015	27 067
20004	250	27 430	2008	25 398
119 730			56 659	

PANDA est un outil complet d'aide à la décision qui guide efficacement le chargé d'affaires dans l'élaboration de son plan d'investissement. Grâce au moteur de simulation BAMBOU, l'ingénieur d'études peut vérifier la faisabilité de la solution de renforcement : les niveaux de pression, les valeurs de débit dans les ouvrages passifs, les puissances et taux de compression dans les stations de compression, les vitesses d'écoulement du gaz, ce qui permet de simuler dans le temps le comportement du réseau après chaque renforcement.

PANDA modélise une description physique du réseau et prend en compte des contraintes métiers comme la notion de catalogue commercial, les difficultés de pose liées au terrain ou l'impossibilité de renforcer une canalisation, la

durée de vie d'un ouvrage... L'ingénieur peut choisir de poser certaines canalisations avant les autres pour tenir compte des économies d'échelle liées au chantier de génie civil.

Utilisations de PANDA TRIO en quelques chiffres



En 2006, GRTgaz a réalisé une étude comparative sur plusieurs réseaux régionaux entre un plan de développement obtenu avec PANDA et un plan de développement antérieur. L'outil a produit un échéancier dont le coût actualisé était inférieur en moyenne de 8 % par rapport à la solution obtenue à la main : une économie importante directement imputable à PANDA.

PANDA est aujourd'hui l'outil de référence pour le dimensionnement au sein de GRTgaz. Plus de douze ingénieurs dans les quatre régions de France (Val-de-Seine, Centre Atlantique, Nord-Est, Rhône-Méditerranée) recourent à l'outil pour effectuer leurs plans de développement.

PANDA est aussi utilisé pour l'évaluation des niveaux de pression à fixer en sortie du réseau principal en vue d'alimenter les réseaux régionaux, répondre à des appels d'offres internationaux et préparer le remplacement des canalisations vétustes.

GDF SUEZ – Opti-ATM (Accès au Terminal Méthanier)

Le gaz naturel liquéfié (GNL) et le terminal de Fos Cavaou

Dans les conditions normales de pression et de température, le gaz naturel se trouve sous forme gazeuse. Lorsqu'il est refroidi à l'extrême (-162 °C), il passe à l'état liquide. Sous cette forme, son volume est 600 fois moindre qu'à l'état gazeux. Le gaz naturel ainsi liquéfié peut alors être transporté par voie maritime à l'aide de navires méthaniers qui peuvent acheminer jusqu'à 260 000 m³ de GNL. Aux abords de certaines zones portuaires, des terminaux méthaniers permettent de regazéifier le GNL afin de l'injecter sur le réseau de transport terrestre (canalisations). Ce moyen permet de diversifier le portefeuille d'approvisionnement du groupe et d'apporter de la flexibilité géographique à la gestion des apports en gaz.

Le terminal de Fos Cavaou, situé sur le littoral méditerranéen, a été mis en service en fin 2009. Sa capacité d'émission est de 8,25 Gm³/an, il présente la particularité de pouvoir offrir ses services à plusieurs compagnies expéditrices simultanément et peut accueillir jusqu'à 100 navires par an. Il est détenu par la STMFC (Société du Terminal Méthanier de Fos-Cavaou) dont le groupe GDF SUEZ est actionnaire à plus de 70 % à travers sa filiale Elengy, avec Total pour partenaire.



La STMFC assure la commercialisation de l'accès au terminal et contrôle son terminal, tout en garantissant le respect de l'équité entre les expéditeurs. La gestion opérationnelle du site de Fos Cavaou est assurée par Elengy, deuxième opérateur européen de terminaux méthaniers, qui bénéficie de plus de quarante ans d'expérience dans la conception, l'exploitation, la maintenance et la gestion des terminaux méthaniers.

Gérer un terminal méthanier multi-expéditeurs

La gestion opérationnelle du terminal de Fos Cavaou est un réel challenge. D'une part, les contraintes physiques régissant l'utilisation du terminal doivent impérativement être respectées pour assurer la sécurité du site. D'autre part, les conditions commerciales sur lesquelles la STMFC s'est engagée auprès des expéditeurs doivent être garanties.

Les contraintes techniques sont principalement des limitations sur le niveau d'émission de gaz naturel en sortie du terminal avec des plages d'émission autorisées discontinues, de faibles variations d'émission au fil du temps, et des limitations de la quantité de GNL en attente d'être regazéifié (en stock dans le terminal).

Les engagements commerciaux concernent notamment un traitement équitable de tous les utilisateurs du terminal méthanier vis-à-vis de la planification de leurs émissions, des impacts d'événements imprévus sur le planning de chacun, ainsi que de l'offre de flexibilité accordée.

La construction manuelle d'un plan d'émission pour le terminal respectant à la fois toutes les contraintes physiques et les conditions contractuelles est très laborieuse. De surcroît, le plan initial doit régulièrement être ajusté (parfois plusieurs fois par jour) afin de prendre en compte des impondérables survenant au fil du temps : changement de planning d'arrivées des méthaniers, dysfonctionnement momentané d'une plage d'émission... Par conséquent, un outil de calcul automatisant cette planification est essentiel pour aider les opérateurs à piloter le terminal.

Solution logicielle développée par le CEEME

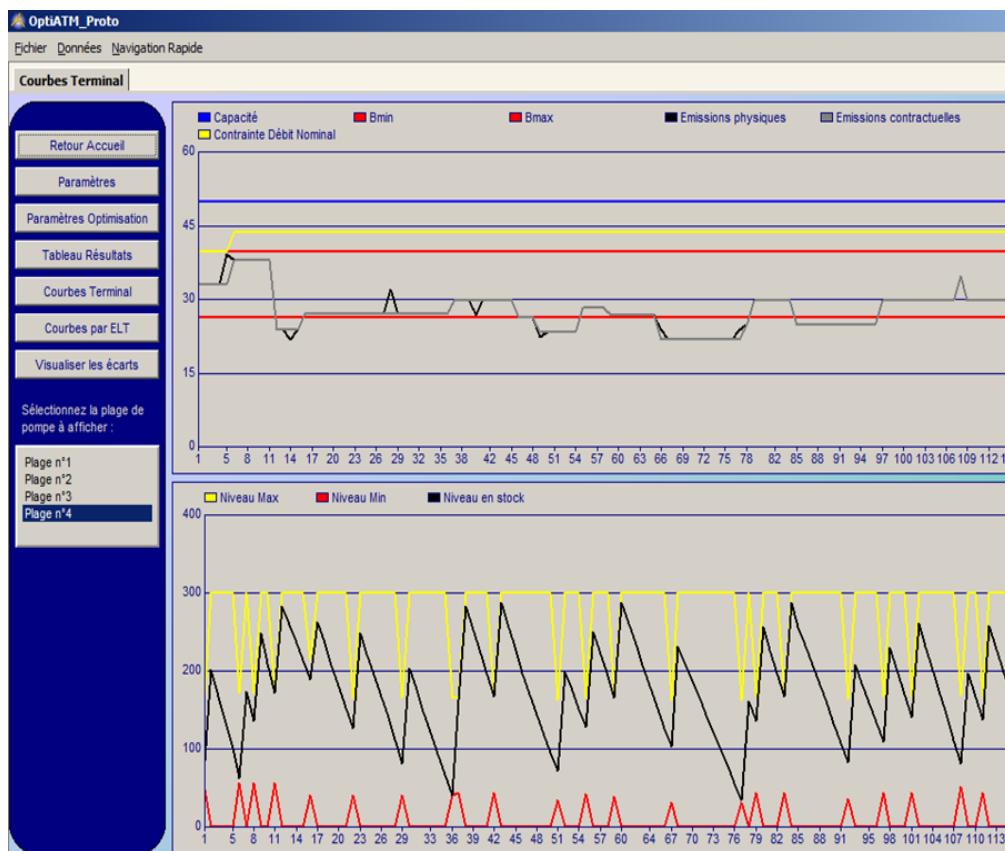
L'équipe du CEEME spécialisée dans les problématiques d'optimisation des approvisionnements en gaz a développé l'outil "Opti-ATM" (Accès au Terminal Méthanier) qui optimise le planning des émissions du terminal de Fos Cavaou. Trois fonctionnalités sont intégrées à cet outil :

- **Programmation trimestrielle des émissions journalières.** Pour un planning donné d'arrivées des navires méthaniers, l'émission journalière de chaque expéditeur, en sortie du terminal (donc injectée dans le réseau de transport terrestre) est calculée pour les trois mois à venir. L'approche choisie se compose de deux étapes : un modèle mathématique et une méthode de résolution (programmation linéaire en nombres entiers), issus des techniques de recherche opérationnelle, permettent d'abord de calculer l'émission globale du terminal, puis dans un second temps, l'émission est répartie équitablement entre les différents utilisateurs. Des règles strictes d'équité sont alors vérifiées.
- **Révision de programme.** Un tel programme trimestriel nécessite fréquemment d'être recalculé à la suite d'événements qui peuvent être imputés à un expéditeur (e.g. retard dans l'arrivée d'un navire) ou non (e.g. indisponibilité temporaire d'une plage d'émission empêchant un certain niveau de production). Le logiciel Opti-ATM résout cette fois-ci deux modèles de programmation linéaire en nombres entiers à la suite : d'abord l'impact de cette modification sur les expéditeurs non fautifs est minimisé, puis c'est l'impact sur l'utilisateur fautif (s'il existe) qui est minimisé.
- **Calcul de flexibilités.** La STMFC doit communiquer aux expéditeurs la flexibilité d'émission dont ils disposent, relativement à un programme d'émission de référence. Ainsi, les expéditeurs peuvent demander à émettre sur le réseau en sortie du terminal une quantité supérieure ou inférieure à ce qui est programmé initialement sans que cela ne perturbe les programmes des autres expéditeurs (qui émettent pourtant simultanément). Le logiciel Opti-ATM opère alors en trois étapes : calcul de la flexibilité totale journalière (à la hausse et à la baisse), calcul de la flexibilité journalière par expéditeur, et optimisation du compte de flexibilité disponible atteignable chaque jour.

Bénéfices

Le logiciel Opti-ATM calcule en quelques secondes des plans d'émission pour le terminal méthanier qui respectent toutes les contraintes physiques et contractuelles. Les opérateurs du terminal qui utilisent ce logiciel peuvent ensuite apporter des modifications aux hypothèses et relancer un calcul, ou

même adapter manuellement la solution proposée par cet outil d'aide à la décision. La mise à disposition d'un tel logiciel conduit à une plus grande performance d'utilisation du terminal et de plus larges marges de manœuvre sans risquer de violer les contraintes techniques ou de pénaliser certains expéditeurs. Le pilotage du terminal est plus souple, la durée de vie du matériel est prolongée, la sécurité et l'équité entre expéditeurs sont assurées.



Profils d'émission et niveaux de stock du terminal de Fos Cavaou

(Extrait de l'IHM développée avec AIMMS , Paragon decision)

LOGISTIQUE

ARMÉE DE TERRE – GENEFORCE

L'armée de Terre professionnelle est une force d'intervention, apte à exécuter sans délai des missions complexes. Suite à la décision politique, la planification de l'opération doit être menée : une fois réalisée l'analyse fine de la situation et du mode d'action retenu, un processus de génération de forces est entamé. Celui-ci consiste à déterminer la nature et le volume des unités qui seront engagées dans l'opération.

La génération d'une force est un exercice difficile. Elle doit tenir compte des capacités disponibles, de paramètres divers (opposants, géographie, etc.) et de contraintes politiques ou doctrinales fortes qui s'expriment en termes de limite d'effectifs ou de règles régissant l'engagement de tel ou tel type d'unité. Cet exercice était jusqu'alors réalisé « manuellement » par les officiers du CFT (Commandement de la Force Terrestre), avec les outils bureautiques classiques. La mise au point d'une première proposition de force cohérente nécessitait de réunir les experts de chaque domaine opérationnel pendant plusieurs jours.

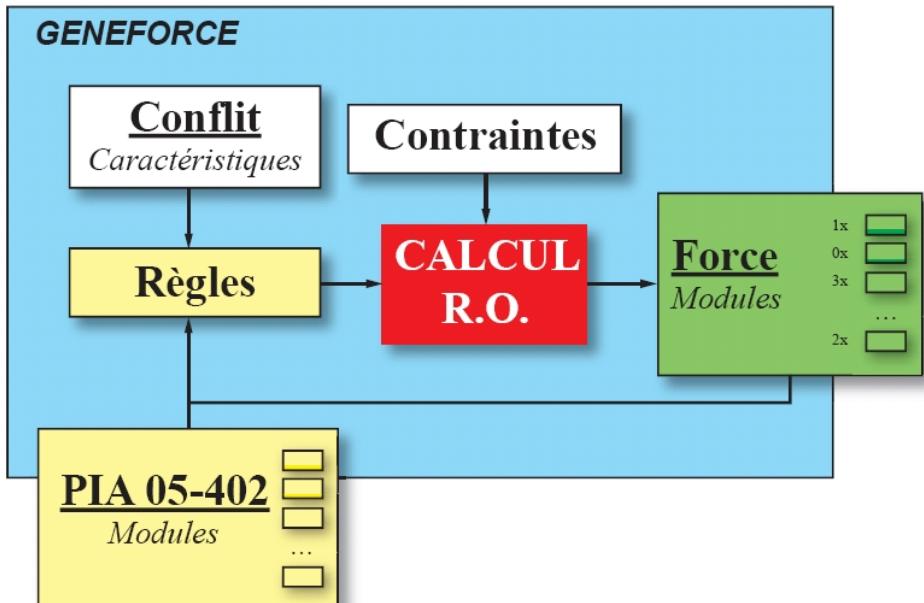
La Division Simulation et recherche opérationnelle (DSRO), qui conseille et assiste l'état-major de l'armée de Terre et les grands commandements dans leurs travaux nécessitant une expertise en simulation de combat ou en techniques d'analyse décisionnelle⁵, a lancé le projet GENEFORCE visant à mettre au point un outil d'aide à la génération de forces, permettant de réduire ces délais de réalisation. La DSRO a retenu la société Artelys pour la réalisation de ces travaux.

Après une phase d'analyse des pratiques et des outils existants, Artelys a établi, en étroite collaboration avec la DSRO, les spécifications d'un tel outil de génération de forces, puis en a réalisé la conception et le développement. Compte tenu du caractère très contraint du problème, la programmation par contraintes a été choisie. Après consultation des experts de chaque fonction opérationnelle et analyse de la doctrine de génération de forces, un ensemble de règles et de contraintes a été constitué et modélisé en contraintes

⁵Voir en particulier les Cahiers de la RO :

http://www.cdef.terre.defense.gouv.fr/publications/cahiers_dsro/les_cahiers_RO.htm

formelles par les ingénieurs Artelys. En plus de l'intégration de ces règles dans la base de données de GENEFORCE, des fonctionnalités de paramétrage avancé ont été développées et permettent à l'utilisateur de modifier et d'ajouter des règles métiers qui sont automatiquement prises en compte lors des calculs réalisés par le composant numérique de programmation par contraintes Artelys Kalis.



Une première série de développements ayant permis de valider la faisabilité technique et le concept, des développements complémentaires ont été réalisés afin d'améliorer l'interface, d'augmenter le niveau de paramétrage, d'intégrer de nouvelles contraintes et ainsi faciliter l'utilisation dans un contexte de planification opérationnelle.

Au final, cet outil permet de déterminer, pour chacun des scénarios d'engagement étudiés, la composition de la force en fonctions opérationnelles et en modules la plus adaptée au conflit décrit par le scénario, tout en étant compatible avec les ressources de l'armée de Terre, la doctrine et le volume d'effectifs affecté par les politiques à ce conflit. En cas d'incompatibilité entre certaines de ces contraintes, l'utilisation de la programmation par contraintes permet de déterminer un ensemble minimal de contraintes infaisables, utilisées par GENEFORCE pour assister l'utilisateur dans l'identification des

contradictions et la réalisation du meilleur compromis. Par ailleurs, l'utilisateur peut faire évoluer les modalités de description du contexte d'engagement, des ressources disponibles (qualitativement et quantitativement), ainsi que les règles d'utilisation de ces ressources en fonction du contexte, en manipulant des notions de son métier plutôt que des variables ou des contraintes formelles.

Cet outil a été déployé au sein du CFT et permet la constitution d'une proposition de force cohérente en quelques heures (au lieu de quelques jours), tout en assurant une traçabilité des choix ayant conduit à cette solution.

Ainsi, le travail réalisé par les ingénieurs Artelys a permis d'aboutir à une solution ouverte d'aide à la génération de force, combinant l'efficacité et la flexibilité de la programmation par contraintes.

Caractéristiques du conflit	
<input checked="" type="checkbox"/> 1. Question - Cadre conflictuel de l'action	Phase de l'engagement ? <input checked="" type="radio"/> Intervention <input type="radio"/> Stabilisation <input type="radio"/> Normalisation
<input checked="" type="checkbox"/> 2. Question - Données d'analyse de situation	Capacités de l'adversaire par rapport à nos capacités ? <input checked="" type="radio"/> Symétrique <input type="radio"/> Asymétrique <input type="radio"/> Dissymétrique
<input checked="" type="checkbox"/> 3. Question - Cadre géographique de l'action	Types d'adversaires possibles ? <input type="checkbox"/> Milice <input type="checkbox"/> Bandes organisées <input type="checkbox"/> Bandes non organisées
<input checked="" type="checkbox"/> 4. Données tactiques CONTACT	Degré d'urbanisation de la zone d'action de la force ? <input type="radio"/> Zone pas du tout urbanisée <input checked="" type="radio"/> Zone peu urbanisée <input type="radio"/> Zone très urbanisée
<input checked="" type="checkbox"/> 5. Données tactiques ARTILLERIE	
<input checked="" type="checkbox"/> 6. Données tactiques GENIE	
<input checked="" type="checkbox"/> 7. Caractéristiques numériques	
<input checked="" type="checkbox"/> 8. Caractéristiques numériques calculées	

EURODECISION – LP-SUPPLYCHAIN

La problématique « supply chain »

En s'appuyant sur ses 23 ans d'existence et la réalisation de très nombreux projets d'optimisation des ressources en logistique, EURODECISION a développé un composant logiciel métier, LP-SupplyChain qui permet de réaliser des applications d'aide à la décision ou des études logistiques.

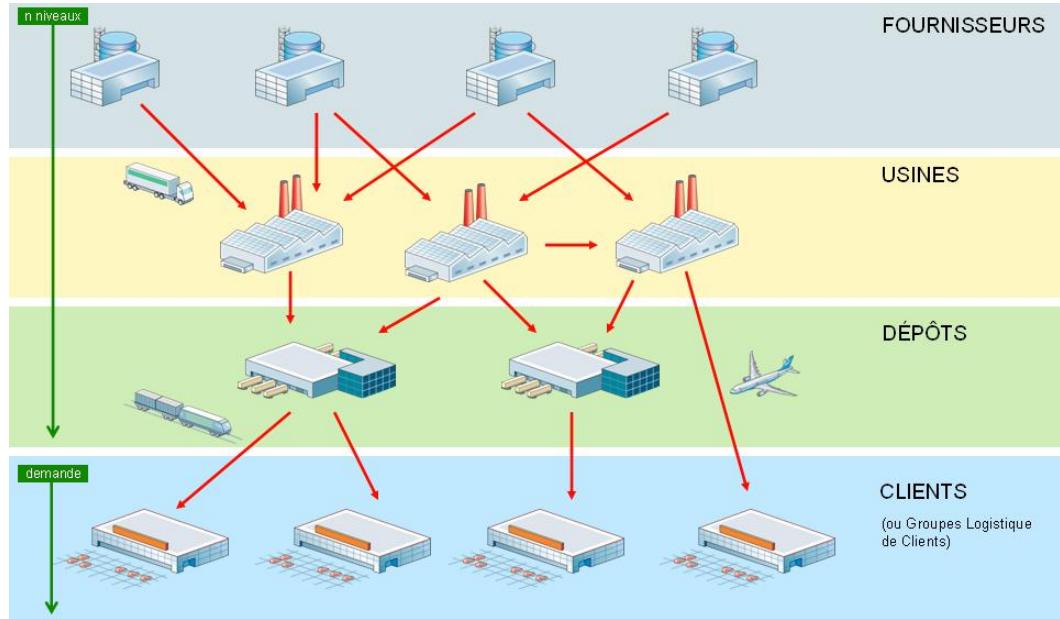
Les décisions à prendre dans ce domaine font intervenir un nombre important de choix sur des paramètres élémentaires (quantités fabriquées par produit, unité de fabrication, période de temps, atelier... par exemple), et ont des impacts importants sur les coûts de fonctionnement et la qualité de service. La fonction de l'outil développé par EURODECISION est de modéliser la supply chain et de l'optimiser de manière à piloter des décisions stratégiques et tactiques telles que :

- la sélection des fournisseurs
- la détermination des flux de transport amont et aval
- le dimensionnement des unités de production et des centres logistiques
- le plan directeur de production
- l'optimisation des niveaux de stocks
- la définition des zones de chalandise
- l'ouverture/la localisation d'établissements...

À l'horizon stratégique, LP-SupplyChain permet de tester la sensibilité de l'organisation aux changements dans son environnement et d'évaluer par exemple l'impact moyen et long terme d'une croissance soutenue ou du lancement d'un nouveau produit. À l'horizon tactique, il permet de construire un plan directeur de production et distribution, sur la base de prévisions de demande et en respectant les décisions stratégiques. Il s'appuie sur un modèle de résolution à base de programmation mathématique et utilisant le solveur Xpress-MP de FICO.

Modélisation

La représentation du réseau logistique (du fournisseur au client) sur laquelle s'appuie le modèle est schématiquement la suivante :



Les processus au sein des usines peuvent également être pris finement en compte (ressources nécessaires, coûts de fabrication, capacités disponibles ou à dimensionner) : procédés de fabrication de clinker et de ciment via l'utilisation des fours et des broyeurs, production de gaz industriels, production d'organes et de véhicules dans l'industrie automobile, etc.

La générnicité du modèle qui est un « flot enrichi », permet d'appliquer l'approche à de nombreux contextes différents : du problème de transport simple des manuels de RO, aux problèmes multipériodes, multiniveaux, intégrant ou non une description détaillée des process de production, en passant par des applications sur des sujets purs d'approvisionnement ou de distribution.

Au-delà du modèle de résolution proprement dit, il nous a paru important d'insérer l'outil dans un contexte très métier, de proposer des modes de représentation des données et des résultats familiers pour les utilisateurs. C'est ainsi qu'aujourd'hui, LP-SupplyChain s'intègre facilement dans l'environnement bureautique standard, laissant la liberté à l'utilisateur de récupérer et travailler les informations sur ses supports habituels.

Outre la production de résultats synthétiques et détaillés chiffrés (quantités fabriquées, stockées, distribuées), un objectif important pour ce type de plate-

forme d'aide à la décision est également de proposer des supports de communication attractifs : la cartographie se révèle être une aide intéressante pour prendre les meilleures décisions.

Modes d'utilisation et témoignages

Faire de l'aide à la décision nécessite généralement de faire de l'essai-erreur, on parle parfois de « simulations ». Un tel outil peut être utilisé en mode « what if ? », pour répondre à des questions du type « que se passe-t-il si j'ouvre ou ferme telle usine ou tel dépôt », « quel est l'impact sur mon réseau logistique et mon coût global ? ».

« Simple et convivial, Octane nous permet d'étudier rapidement de nombreux scénarios. En tenant compte de la saisie des données, nous obtenons une solution optimisée en moins d'une heure. Il nous fallait attendre près d'une semaine pour obtenir un résultat avec notre ancien système ! », Arnaud Leclercq, Chef du Service Pilotage Logistique, TOTAL.

Outre les résultats bruts, l'outil propose une analyse marginale qui permet par exemple de connaître le coût de livraison d'un produit supplémentaire à un client donné, ou de connaître le gain économique si l'on augmente la capacité d'une ressource saturée. « Nous pouvons définir la zone géographique la plus favorable pour la prospection de nouveaux clients, celle qui offre la meilleure marge en fonction de nos implantations. », Joël Mariotti, Vice-President Strategic Plan, Essroc, ITALCEMENTI GROUP.

Les facteurs clés de réussite de tels projets sont une bonne connaissance métier de la logistique et la souplesse et la puissance du modèle et des outils utilisés. « Nous avons apprécié l'approche pragmatique proposée par EURODECISION, leur connaissance du domaine et la flexibilité de la solution proposée ont permis de modéliser notre métier dans des délais records », Gilles Domain - Responsable Efficacité Vrac – AIR LIQUIDE.

Des études logistiques sont également régulièrement effectuées avec LP-SupplyChain par l'équipe EURODECISION pour ses clients. Par exemple une étude peut consister à définir le positionnement de plates-formes par une liste une liste de plates-formes candidates de manière à minimiser les coûts et à satisfaire la qualité de service visée. Un autre type d'étude récurrent est la fusion de deux réseaux logistiques disjoints dans le but d'aboutir à un réseau unique optimisé avec différentes phases de mutation.

Exemples d'implémentations et résultats

AIR LIQUIDE – Escale : planification stratégique des gaz en vrac en Europe.

- Objectifs : optimiser l'exploitation du réseau de production et distribution de l'argon et du gaz carbonique
- Résultats : simulation rapide de l'impact d'un nouvel investissement ou d'un nouveau contrat d'achat

AIR LIQUIDE – Grande industrie : production et distribution de gaz industriels.

- Objectifs : mettre au point un moteur d'optimisation robuste et performant pour la planification de production de gaz dans un réseau d'usines interconnectées par des pipelines à destination des grands clients d'Air Liquide, l'encapsuler dans un Web service, intégrer le tout dans une architecture logicielle et matérielle centralisée mise au point par AIR LIQUIDE ISIS
- Résultats : possibilité de planifier la production à court, moyen et long termes et de suivre les flux par usine et par client, gain de temps significatif dans la réalisation des plannings, meilleure anticipation des problèmes

ITALCEMENTI GROUP : flux logistiques de cimenteries, de la simulation stratégique à la préparation des budgets annuels.

- Objectifs : améliorer la planification stratégique d'un groupe de cimenteries
- Résultats : meilleure maîtrise des budgets annuels, meilleure détection des goulets d'étranglement en production

TOTAL – Projet Octane : optimiser la distribution des carburants en France.

- Objectifs : optimiser la chaîne logistique, de la raffinerie ou du dépôt aux stations-service
- Résultats : possibilité de simuler rapidement l'impact de la fermeture d'un dépôt ou le changement d'origine de la ressource

TOTAL – Projet Optilog : distribution du fuel en France.

- Objectifs : disposer d'un outil de simulation permettant de réfléchir à l'évolution du maillage logistique du territoire français pour la distribution du fuel domestique
- Résultats : un outil de réflexion stratégique permettant de réaliser de façon rapide et pertinente des simulations pour améliorer l'organisation logistique de la distribution du fuel et l'adapter aux contraintes nouvelles

LA POSTE

La branche courrier du groupe LA POSTE collecte, traite, transporte et distribue 6 jours sur 7 en moyenne 60 millions d'objets avec une exigence forte en termes de qualité de service pour le client émetteur et le client destinataire.

Cette mission confère à l'outil de production une obligation de performance sur une chaîne logistique de bout en bout dans laquelle traitement et transport sont étroitement liés. Le réseau de production courrier est une organisation complexe traitant des flux de nature diverses : près de 150 000 personnes sont mobilisées sur plus de 3 000 établissements de production reliés entre eux par des sous-réseaux de transport. La capacité de priorisation dans le traitement et le transport des flux les plus urgents est aussi essentielle que la capacité à gérer des flux moins urgents en réduisant les coûts par une massification du transport et des traitements.

Une telle organisation implique des évolutions permanentes d'adaptation aux changements de son environnement : ouverture progressive des marchés postaux, dématérialisation du courrier, besoins nouveaux des clients comme le courrier marketing. LA POSTE s'est engagée en 2004 dans le programme Cap Qualité Courrier (CQC) de réingénierie de son réseau de production. Projet d'entreprise au-delà du projet technique, CQC concerne tous les aspects de l'organisation du réseau depuis les infrastructures jusqu'au management.

L'optimisation des réseaux de transports.

L'optimisation des réseaux de transport est une problématique répartie sur l'ensemble du territoire et selon différents niveaux :

- distribution du courrier par les facteurs,
- collecte/distribution de points spécifiques au niveau local de la commune ou d'un groupement de communes,
- massification des flux au niveau départemental ou régional pour la concentration et dispersion des flux entre les centres de tri et les établissements de collecte/distribution,
- acheminement au niveau national des flux entre centres de tri.

Au sein du réseau de production courrier, les besoins en applications d'optimisation varient en fonction de la fréquence ou de la nature des

réorganisations, de la répartition territoriale des organisateurs, du pilotage des ressources dédiées au transport, etc. Le projet CQC est l'occasion de redéfinir en profondeur ces organisations, qu'elles soient locales ou nationales.

Organisation de la collecte des flux courrier

Il s'agit de la collecte des boîtes aux lettres, des collectes payantes auprès des entreprises, des collectes des bureaux de poste, dépôts relais, etc.

Dans la modélisation la plus simple, pour chaque point de collecte sont définies : heure ou fenêtre temporelle de passage et quantité d'objets à transporter et à ramener à un dépôt unique avant l'heure au plus tard fixée. Les coûts sont modélisés par des coûts fixes, kilométriques et temps passés. L'optimisation consiste alors à rechercher une organisation de tournées qui soit la moins coûteuse selon ces critères et respecte les contraintes d'heure de passage, d'heure de retour au dépôt et de capacité des véhicules.

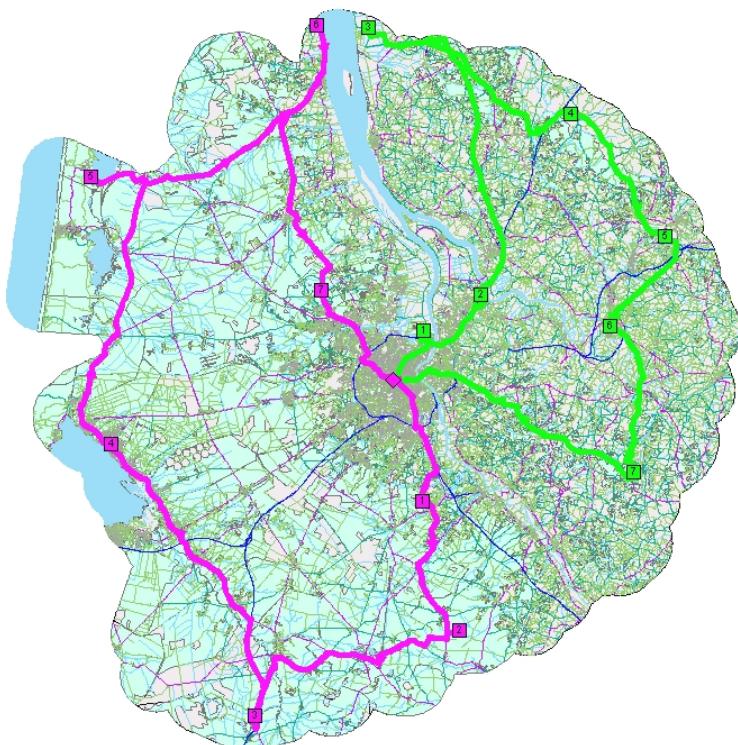


Figure 1 : exemples de tournées

Cet outil est à ce jour utilisé par une centaine de personnes réparties sur le territoire. Les solutions sont produites dans un délai de quelques minutes pour les bassins de collecte les plus importants (plus de 2 000 points). Un certain nombre de fonctions et contraintes métiers, comme les capacités de traitement des centres de tri rendent les solutions opérationnelles. En outre, l'outil permet de rééditer les solutions produites et d'offrir des fonctions d'optimisation partielles. L'interaction entre utilisateur et système d'optimisation est aujourd'hui une fonctionnalité centrale.

Simulateur du réseau d'acheminement national

Il s'agit d'optimiser et simuler des organisations de transport pour les réseaux d'acheminement entre centres de tri. La DTC a développé un outil d'optimisation pour construire et simuler le réseau d'acheminement cible (2012) du courrier et envisager différents scénarios d'organisation du réseau.

Le réseau cible est constitué d'environ cinquante centres de tri et 20 hubs, routiers, ferroviaires ou aériens. L'outil simule l'acheminement optimal quotidien entre ces sites (environ 10 000 unités d'œuvre contenant des courrier avec horaires départ/arrivée) par des liaisons de transport prédéfinies (avion, rail) proposées ou simulées avec l'outil pour le transport routier. Une solution d'organisation type comprend environ 6 000 liaisons transport.

L'outil intègre des fonctions d'optimisation et d'édition des organisations de transport construites. L'aspect opérationnel de cet outil est extrêmement important. Les courbes d'alimentation produites sont utilisées dans la conception des organisations de production à reconcevoir pour chaque établissement dans le cadre du projet CQC.

Outre des heuristiques spécifiques d'optimisation, des techniques de résolution formelles ont pu être mises en place pour le traitement de certains sous-problèmes : programmation dynamique pour le lissage de l'alimentation des arrivées, flot maximum pour le rechargement et l'optimisation de l'utilisation d'un plan de transport ou la gestion du vide.

Les travaux sur le réseau d'acheminement font l'objet d'une thèse avec le concours de l'ANRT et en collaboration avec l'Institut de Mathématiques Appliquées d'Angers.

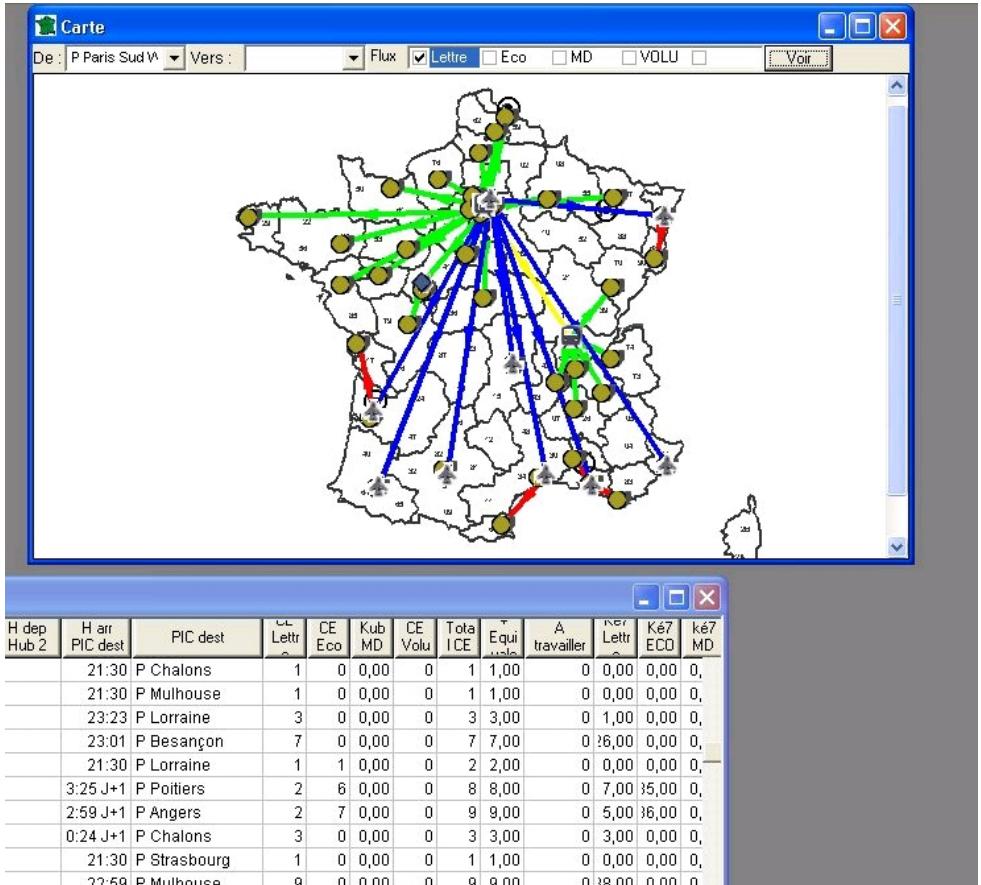


Figure 2 : exemples de solutions d'acheminement

L'optimisation du tri du courrier

Le traitement du courrier consiste à collecter des objets postaux et à les distribuer à l'un des 20 millions de points de distribution répartis (PDI) sur le territoire.

Avec 60 millions de plis à traiter chaque jour, il est impératif de disposer d'un niveau élevé d'automatisation de ce tri. Cette automatisation repose sur les machines de tri, systèmes mécaniques capables de traiter à un haut débit les objets postaux selon la séquence suivante : injection manuelle ou automatisée, capture de l'image de la face adresse, reconnaissance de

l'adresse, identification de la destination et convoyage vers la sortie de tri correspondant à la destination.

Les machines de tri des dernières générations atteignent des performances de l'ordre de 40 000 objets/heure et disposent de 200 à 500 sorties. Un centre de tri peut contenir de 3 à 12 machines de tri pour un parc total de plus de 800 machines. Les systèmes de reconnaissance de l'adresse sont à même d'identifier avec des taux élevés de réussite l'adresse du destinataire. On peut donc envisager pour une part grandissante et très majoritaire du courrier de mécaniser le tri du courrier jusqu'aux points de distribution.

Avec plus de 20 millions de points répartis sur le territoire, il est nécessaire de réaliser plusieurs passes de tri. Chacune de ces étapes va consister à séparer les flux selon un ensemble de directions de plus en plus fines tout en regroupant les flux de chacune de ces directions dans la même sortie. Pour chacune de ces directions de tri, il faut aussi tenir compte du temps d'acheminement à l'étape suivante de tri qui sera le plus souvent sur un autre établissement du réseau postal. Il est aussi nécessaire de massifier les flux dans les contenants recevant les flux de chacune des directions afin de réduire le coût de ce transfert.

Globalement, il s'agit donc d'équilibrer les ressources de traitement disponibles en termes de séparation et capacité tout en respectant les contraintes logistiques de transport et massification. À titre d'exemple, considérons le cas d'une stratégie consistant à trier dans une phase dite départ et dans chaque centre de tri les flux soit pour la totalité soit pour chacune des machines des centres de tri de destination. Dans ceux-ci et cette fois dans la phase dite arrivée, les flux devront être de nouveau triés par exemple par tournée ou groupe de tournées de distribution. En fin de cette seconde phase de tri, ces tournées sont elles-mêmes dispersées via des liaisons de transport. Ces liaisons ont une heure de départ au plus tard qui imposent une heure de fin de traitement au plus tard en phase arrivée.

Chaque direction de tri est ainsi caractérisée par son heure de fin de traitement mais aussi par sa quantité, grandeur fortement variable d'une direction à l'autre. Le respect des contraintes et la réduction des coûts vont alors fortement dépendre du regroupement de ces directions sur chacune des machines arrivée dans la mesure où ce regroupement va influencer sur les temps de traitement et les besoins de séparation du lot ainsi constitué. Il faut donc rechercher parmi tous les regroupements possibles celui qui maximisera

la durée entre la fin de traitement réel et l'heure au plus tard tout en respectant les capacités des machines de tri et les contraintes de remplissage des contenants

Au-delà de cet exemple particulier, ce type de problème, très représentatif du tri du courrier, est facilement modélisé et sa résolution fait appel à des techniques d'optimisation combinatoire qui sont aujourd'hui intégrées dans des outils de simulation, outils mis à disposition d'équipes de terrain ou d'experts nationaux.

En conclusion, l'activité postale est une activité logistique caractérisée par la forte imbrication des activités traitement et transport. La recherche permanente d'optimisation des coûts de production nous a conduits à développer des outils utilisant des techniques d'optimisation et intégrant ces deux aspects, avec la préoccupation permanente de prendre en compte les aspects opérationnels pour permettre aux exploitants de mettre en œuvre les solutions produites.

AIR LIQUIDE – ODRAL

L'outil ODRAL a été conçu pour accompagner les logisticiens d'AIR LIQUIDE dans l'évaluation tactique des tournées des camions qui transportent les gaz conditionnés en bouteilles.

Il est le fruit d'une collaboration entre la Direction Industrielle mondiale, l'équipe de recherche spécialisée en recherche opérationnelle, les logisticiens et les équipes informatiques.



© Air Liquide 2011

L'organisation des tournées de camions est un problème difficile dû à la contrainte commerciale (servir tous les clients à la bonne fréquence) et à la contrainte économique (remplir les camions). Pour faire face à ce problème, les logisticiens d'AIR LIQUIDE appliquent des méthodes prouvées, basées sur leur expertise. Néanmoins, des marges d'améliorations sont évidentes.

Les premiers pas dans la construction de cet outil ont été réalisés par l'équipe d'experts au sein de la Direction Industrielle mondiale, qui a synthétisé les bonnes pratiques d'analyse tactique des tournées sous forme de procédures claires et facilement « informatisables ».

Sur cette base, l'équipe R&D de recherche opérationnelle a développé des techniques d'optimisation qui permettent d'approcher plus rapidement la solution optimale :

1. une recherche locale basée sur la méthode tabou pour le regroupement des clients dans des ensembles cohérents (clustering)
2. Un algorithme de programmation par contrainte (PPC) pour la planification des tournées récurrentes
3. Des techniques de post traitement des solutions pour augmenter leur acceptabilité par les logisticiens

Enfin, l'Informatique Industrielle d'AIR LIQUIDE (ISIS) a développé une interface de type « client léger » pour permettre une interaction rapide (saisie des données, évaluation des solutions) avec les utilisateurs finaux.



© Air Liquide 2011

Le résultat est un outil interactif qui valorise pleinement l'expertise des logisticiens. En effet, ODRAL leur permet d'obtenir une analyse tactique de bonne qualité dans un temps très réduit. Cela facilite l'anticipation des besoins en termes de dimensionnement de la flotte et permet un ciblage plus réactif des opportunités de réduction des coûts dans la construction des tournées.

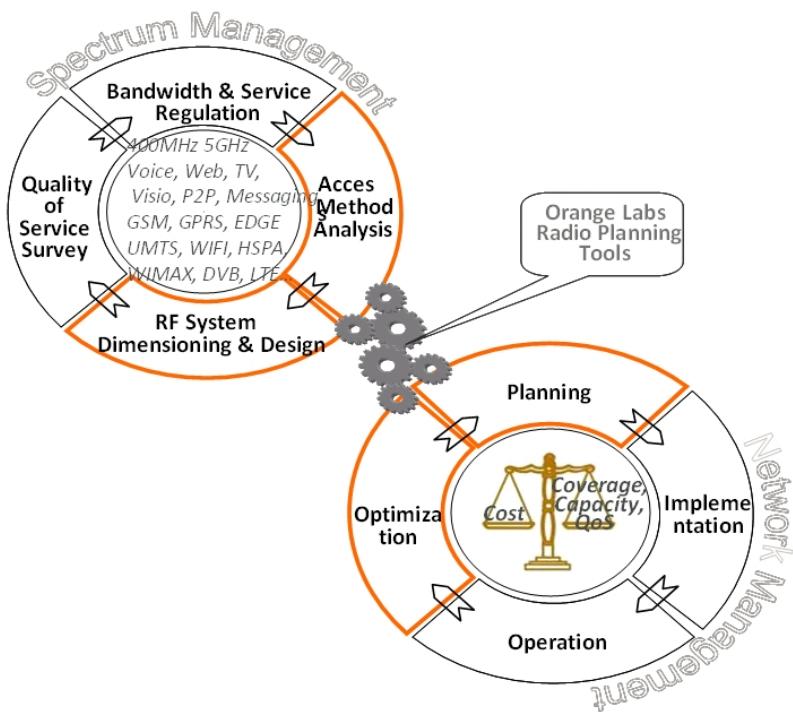
Cet outil a été déployé au sein des filiales Air Liquide en Europe, Asie, Océanie et Amérique.

ORANGE LABS – Dimensionnement et design optimisés des réseaux radiomobiles

Le cycle de vie des réseaux radiomobiles

Les réseaux radiomobiles constituent aujourd'hui l'une des infrastructures de communication les plus développées et les plus dynamiques au monde.

Ces réseaux présentent la caractéristique d'utiliser des ondes radioélectriques sur un spectre de fréquences donné pour établir la connexion finale entre le réseau et l'utilisateur. Ce medium n'est pas « isolé » physiquement et l'ensemble du spectre radioélectrique constitue une ressource rare que doivent se partager de nombreux acteurs : télévisions, radios, opérateurs téléphoniques, militaires, opérateurs aériens et maritimes...



Cette spécificité implique, pour les réseaux commerciaux de télécommunication radiomobiles, un fort impact réglementaire sur le cycle de vie classique du réseau et introduit ainsi une conception de réseau à deux niveaux. Les contraintes réglementaires vont définir les objectifs technologiques et de service conditionnant l'acquisition d'une bande de fréquences.

Un opérateur va évaluer les différentes technologies d'accès pouvant être déployées pour répondre à ces conditions. Cette évaluation va permettre de déterminer les qualités intrinsèques des différentes méthodes d'accès, mais va également établir et comparer une estimation du coût de déploiement de l'architecture liée à chaque technologie candidate.

Une fois ce choix effectué, un cycle de vie classique pour une infrastructure réseau va démarrer avec ses phases de planification, de déploiement, d'exploitation et d'optimisation.

Cette architecture globale pourra ensuite être remise en cause pour des raisons de capacité insuffisante, de changements réglementaires ou d'évolutions technologiques.

Les outils de dimensionnement, design et optimisation

Historiquement, différents outils et méthodes étaient utilisés lors des différentes phases de la planification et de l'optimisation de l'architecture du réseau d'accès radio lui-même. Ces outils allaient de la feuille de calcul permettant d'estimer une portée et un débit théorique maximum pour une technologie, à des simulateurs permettant d'analyser les performances d'une configuration donnée de réseau.

Les phases de choix stratégique et de dimensionnement se font essentiellement à l'aide d'outils théoriques. L'inconvénient d'une évaluation théorique réside dans le fait qu'elle ne prend en compte que de manière très macroscopique les irrégularités liées à la géographie et à la densité des utilisateurs. Cette simplification peut générer un fort écart avec le coût réel du réseau dans sa phase concrète de design terrain.

La mise en place du réseau sur le terrain, quant à elle, comporte un certain nombre de phases telles que la recherche de sites potentiels pour les équipements radio, leur négociation, leur ouvertures techniques ou encore leur paramétrage antennaire (orientation, puissance...). Elle s'appuie techniquement sur un certain nombre de mesures pouvant être effectuées sur le terrain et optionnellement sur des outils de simulation.

La simulation permet d'obtenir une image relativement précise des performances d'une configuration donnée de réseau. Elle s'appuie sur des données géographiques de terrain (élévation, base de données vectorielle des bâtiments) et une description de l'architecture du réseau. Elle est basée sur une évaluation, à l'aide d'un modèle de propagation des ondes, des affaiblissements du signal entre un émetteur et un récepteur.

Une simulation est généralement calculée sur un maillage permettant de représenter une zone géographique. La résolution de ce maillage peut varier entre 5 mètres pour les plus précis, en ville, et 200 mètres pour les plus grossiers en zone rurale. D'une manière générale, ces simulations ne permettent de travailler avec précision que sur des zones de taille restreinte (quelques millions de mailles) et chaque modification de l'architecture peut demander une mise à jour assez longue des évaluations.

Un certain nombre d'actions ont été initiées pour améliorer ces processus par les centres de recherche de France Telecom au début des années deux mille. Ils ont permis, en parallèle à des avancées en modélisation et en algorithmique, d'introduire des mécanismes d'optimisation issus des techniques de recherche opérationnelle dans des simulateurs réseau afin de pouvoir automatiquement optimiser un certain nombre de paramètres du réseau d'accès radio. Ces paramètres incluent notamment l'orientation (verticale et horizontale) des antennes, ou encore les puissances de transmission. L'optimisation combinatoire permet d'explorer efficacement l'ensemble des combinaisons possibles de ces paramètres à la recherche d'un « bon » paramétrage.

Ces travaux de recherche menés à Orange Labs, renforcés par des projets de recherche collaboratifs, ont donné naissance à une nouvelle génération de logiciels appelés ACP (Automatic Cell Planning).

Une approche unifiée des phases de planification

Depuis ces logiciels, une nouvelle étape a été franchie par le laboratoire traitant des réseaux d'accès au sein des centres de recherche et développement Orange Labs du groupe France Telecom. Cette étape permet d'unifier les phases de dimensionnement, de design et d'optimisation de l'architecture d'accès mobile.

Le logiciel BestOptim (commercialisé sous le nom de Rollout Planner ou encore de Merit ACP) permet, avec une précision équivalente à celle utilisée en phase d'optimisation, de déterminer automatiquement, pour une

technologie donnée, le nombre d'équipements de transmission radio, la localisation de ceux-ci et enfin leur paramétrage afin de respecter des objectifs multiples de coût, de couverture, de capacité et de qualité de service. Il permet ainsi en une seule étape d'évaluer le rapport coût / performance d'une solution technologique sur un territoire de la taille d'un pays en y associant un design tenant compte de la réalité des contraintes sur le terrain.

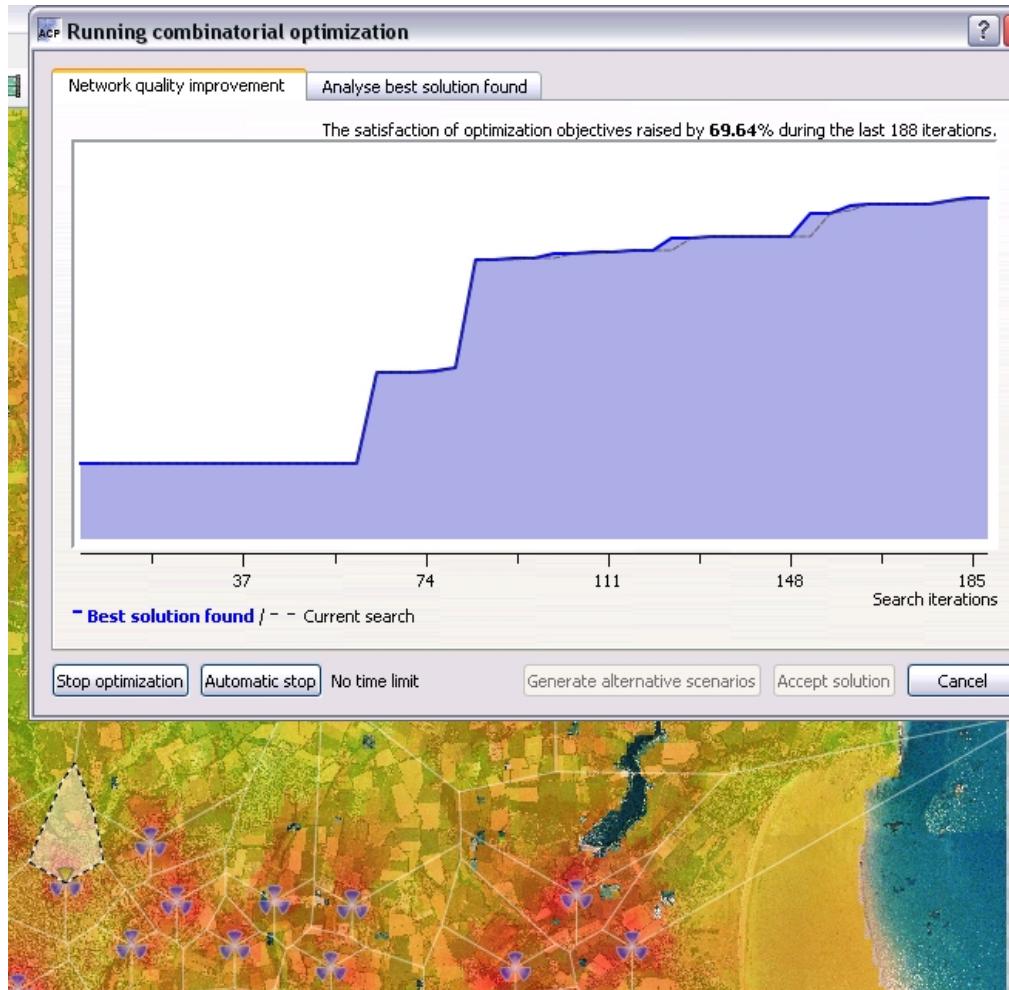


Figure : Capture d'écran du logiciel BestOptim

Un certain nombre de fonctionnalités également issues de la recherche opérationnelle permettent de compléter ce logiciel. Il permet par exemple de prioriser les sites clefs à négocier pour un opérateur, de planifier le déploiement des sites ou des modifications proposées sur le réseau, ou encore de rechercher des chemins de routage pour les infrastructures maillées.

Ce logiciel permet enfin de travailler dans un contexte multiréseau où plusieurs technologies seraient déployées de manière simultanée et devraient cohabiter.

Les gains pour l'opérateur

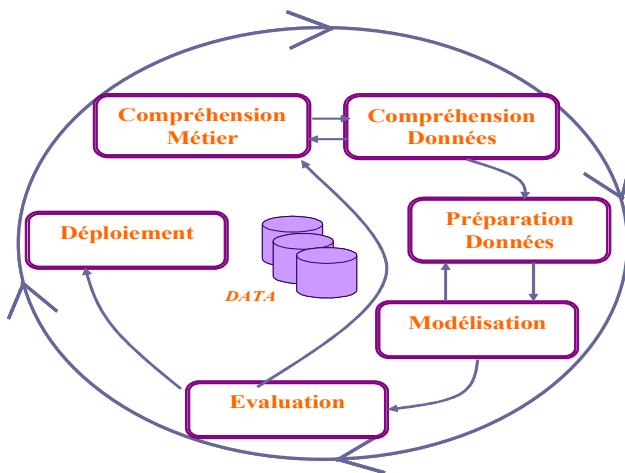
Cette approche unifiée des phases de planification permet tout d'abord d'avoir une vision stratégique claire et solide pour un opérateur face à un choix technologique d'ouverture d'un service. Le logiciel a par exemple contribué à définir le choix technologique du groupe Orange pour l'ouverture de services de télévision sur les téléphones mobiles.

Cette approche permet également de comparer rapidement un ensemble de scénarios potentiels de déploiement comme des combinaisons de technologies ou encore d'anticiper la saturation d'un réseau face à une croissance du trafic. Elle favorise, de plus, le lien entre la prise de décision stratégique et son implémentation sur le terrain.

Les aspects liés à l'optimisation combinatoire et à l'exploration automatique des solutions de déploiement permettent quant à eux de diminuer le nombre d'équipements à installer et d'identifier les positions stratégiques permettant de réduire les coûts du réseau. Il a par exemple été montré que l'utilisation du logiciel BestOptim permettait de diminuer de façon significative le nombre de sites pour ouvrir un service UMTS par rapport à une approche classique de mesures et de simulation.

ORANGE LABS – KHIOPS

Avec l'utilisation de plus en plus répandue des bases de données et leur explosion en termes de volume, les organisations font face aux problèmes d'exploitation de ces données. De nos jours, le recueil des données ainsi que leur stockage sont devenus faciles et peu chers, ce qui peut donner un gain et un avantage pour le marketing dans le ciblage de clients (scoring), avec des applications comme le churn, l'appétence ou la fraude. Devant la masse des données disponibles, les bases de données contiennent des informations de plus en plus pertinentes à condition de disposer d'outils efficaces permettant d'extraire ces informations et celles appropriées pour un besoin donné. La phase de préparation des données est particulièrement importante dans le processus de fouille de données. Elle est critique pour la qualité des résultats, et consomme typiquement de l'ordre de 80 % du temps d'une étude de fouille de données.



Dans le cas de la fouille de données, le contexte industriel impose des contraintes telles que le potentiel des données collectées dans les systèmes d'information est largement sous-utilisé. Khiops est un outil développé à Orange Labs pour la préparation des données et la modélisation dans le cadre de l'apprentissage supervisé et non supervisé. L'objectif poursuivi avec cet outil est d'industrialiser autant que possible la phase de préparation des données, en proposant des méthodes automatiques de recherche de représentation des données pour la fouille de données génériques, sans

paramétrage, fines, fiables, interprétables et efficaces. Il permet d'évaluer de façon non paramétrique la corrélation entre tous types de variables dans le cas non supervisé et l'importance prédictive des variables et paires de variables dans le cas de la classification supervisée. L'outil intègre des travaux de recherche sur les modèles en grille. Dans le cas univarié, un modèle en grille s'apparente à une discrétisation pour une variable numérique et à un regroupement de valeurs pour une variable catégorielle. Dans le cas multivarié, chaque variable est partitionnée en intervalles ou groupes de valeurs selon sa nature numérique ou catégorielle. L'espace complet des données est alors partitionné en une grille de cellules résultant du produit cartésien des partitions univariées. Ces modèles permettent alors une estimation non paramétrique de densité conditionnelle dans le cas supervisé et jointe dans le cas non supervisé. La granularité optimale de la grille des données est recherchée en appliquant une approche bayesienne de la sélection de modèles et en exploitant des algorithmes sophistiqués d'optimisation combinatoire.

Bénéfice utilisateur et avantages

L'outil est adapté à l'analyse des grandes bases de données, avec des centaines de milliers d'individus et des dizaines de milliers de variables, et a permis de participer avec succès à plusieurs challenges internationaux récents. Khiops est utilisée en interne à France Telecom dans de nombreux domaines applicatifs : marketing client (modèles de churn, d'appétence aux nouveaux services...), text mining, web mining, réseaux sociaux, étude technico-économique, caractérisation du trafic internet, ergonomie, sociologie des usages...

Les outils du marché de type atelier data mining (SAS, SPSS) sont des outils complets, mais nécessitant une expertise importante pour leur mise en œuvre. Khiops se positionne d'avantage comme un outil centré sur la partie préparation et modélisation du processus data mining, de façon similaire à un outil comme KXEN. L'apport principal de Khiops est l'automatisation performante du processus. Par rapport aux meilleurs outils du marché, Khiops ne nécessite aucun paramétrage et peut traiter rapidement des données dix à cent fois plus volumineuses en produisant des modèles aux performances accrues (amélioration de 20 % constatée en scoring) ou sans équivalent (coclustering de textes et mots par exemple).

Licences disponibles à la vente. www.khiops.com

SFR – Dimensionnement du réseau ADSL

Contexte

Après le rachat de Neuf Cegetel, SFR connaît une très forte croissance de ses ventes nettes ADSL et doit gérer aussi rationnellement que possible les investissements liés à l'acquisition de nouveaux clients sur les 3 000 répartiteurs où elle possède des infrastructures propres. En cas de sous-capacité locale, l'offre proposée est dégradée aussi bien pour le client que pour l'opérateur.

L'objectif est donc de fournir aux opérations une vision du marché locale aussi robuste que possible pour optimiser l'investissement réalisé.

Métriques

- Temps total du projet du kick-off à la mise en production : 9 mois
- Taille du code : quelques centaines de lignes
- Charge de travail : environ 6 mois-homme

Gain

- Satisfaction de la demande client, marge opérateur.
- Le gain ici effectué est de l'ordre de 10 % de l'assiette de l'investissement global.

BOUYGUES – TF1 – Revenue Management

TF1 Publicité, régie publicitaire du groupe TF1, gère un portefeuille de chaînes thématiques. Afin de faciliter la vente de spots publicitaires sur ces chaînes, la régie propose aux annonceurs publicitaires d'acheter les spots par pack. Grossièrement, un pack permet de consommer un budget tout en garantissant à l'annonceur une certaine audience sur l'ensemble de sa campagne publicitaire. Les packs sont programmés en temps réel à la volée, c'est-à-dire que les premiers arrivés sont les premiers servis, jusqu'à ce que le planning soit saturé (ou qu'il n'y ait plus de demande).

Programmer manuellement des packs est une tâche longue et fastidieuse, d'autant que derrière cette programmation se cache une problématique d'optimisation. En effet, pour le programmateur, le but est de capter l'intégralité du budget d'un annonceur en satisfaisant au mieux un ensemble de contraintes commerciales qui dépasse souvent le cadre contractuel (par exemple assurer une répartition homogène des spots sur la campagne de l'annonceur). Afin d'aider le programmateur dans cette tâche, nous avons développé une solution logicielle permettant la programmation de packs publicitaires de façon automatique et optimisée. Développé en C# et basé sur le solveur libre GLPK, notre algorithme est intégré au logiciel de réservation conçu par TF1 publicité. Il est utilisé quotidiennement par les responsables de programmation.

Ce projet est un exemple de notre collaboration régulière avec le Revenue Management de TF1. Sous la forme d'études ou de logiciels, nous avons travaillé en 10 ans sur des sujets comme l'optimisation du remplissage des écrans, l'étude statistique du comportement des annonceurs, ou encore la prévision d'audience des sites internet. Les

gains issus de ce partenariat sont estimés à 20 millions d'euros par an.



LES PLANS MODULO

Tarifs valables à partir du 1^{er} SEPTEMBRE 2010 Période A
Tarif Brut base 30 secondes

Pour tout budget à partir de **5 100 € brut** base 30"

% des GRP programmés en **PRIME**⁽¹⁾

OPTIM

OPTIM+

63%

85%

CGRP* Brut **Hommes 25-49 ans**

**CIBLE DE
RÉFÉRENCE**

4 800 €

5 100 €

Nombre de messages **indicatif** pour une campagne de
5 100 € brut base 30"

15 à 20⁽²⁾

(1) PRIME Eurosport : Prime [1700;2299] et Week-End [0900;2299]

(2) OPTIM+ dans la fourchette basse, OPTIM dans la fourchette haute

LES TARIFS UNITAIRES

Tarifs valables à partir du 1^{er} SEPTEMBRE 2010 Période A. Tarif Brut base 30 secondes

Ecrans	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0700	102 €	55 €	50 €	50 €	79 €	183 €	50 €
0715	132 €	119 €	107 €	71 €	201 €	207 €	110 €
0730	50 €	106 €	138 €	72 €	321 €	50 €	210 €
0745	62 €	105 €	92 €	95 €	203 €	156 €	301 €
0800	214 €	72 €	50 €	52 €	83 €	81 €	404 €
0815	61 €	50 €	50 €	79 €	126 €	60 €	382 €
0828	61 €	50 €	50 €	79 €	126 €	60 €	382 €
0900	50 €	102 €	170 €	50 €	219 €	203 €	515 €
0930	50 €	98 €	50 €	82 €	229 €	297 €	333 €
1000	50 €	88 €	50 €	127 €	208 €	415 €	480 €
1030	72 €	208 €	50 €	189 €	174 €	530 €	806 €

COSYTEC – Télévision Suisse Romande

La Télévision Suisse Romande

La TSR est la télévision de service public suisse de langue française. Elle décline son programme sur deux canaux destinés aux 1,5 millions de téléspectateurs francophones de Suisse et des régions alentour. Dotée d'un budget de 320 millions de francs suisses, elle emploie 1 300 collaborateurs pour 70 professions. Ses moyens techniques comprennent six studios, un centre de production, cinq studios régionaux décentralisés, trois cars de reportage, trente bancs de montage et un secteur scénographie pour la fabrication des décors. Depuis janvier 2010, la TSR et la radio Suisse Romande ont fusionné pour former la Radio Télévision Suisse qui propose une offre média convergente sur les trois vecteurs que sont la télévision, la radio et internet.

Les objectifs du projet

Le projet LEGHO consiste en la mise en place à la TSR d'un nouveau système de planification des personnels et des moyens de production. Celui-ci doit permettre au management d'anticiper très finement la planification prévisionnelle et de quantifier l'engagement des ressources, au travers d'outils de simulation de grille des programmes et de bilan / plan de charge. Enfin, les différents modules de planification prévisionnelle (simulation / plan de charge) et de planification opérationnelle doivent être intégrés au sein d'un même système.

La solution

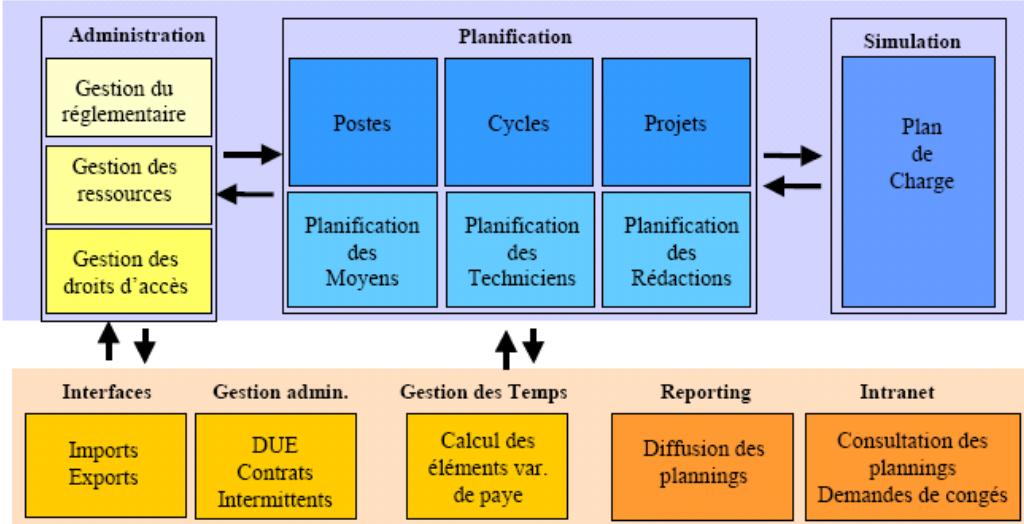
TSR a choisi le système de planification OPTI-CHANNEL de COSYTEC, déjà mis en place auparavant chez RFO et RTL. Cette solution a été déployée depuis chez de nombreuses sociétés de l'audiovisuel (Arte, Canal+, Europe 1, France 24, I-Télé, Lagardère, Radio France Internationale, Technicolor) puis étendue à d'autres populations (journalistes). Ci-dessous un résumé des principaux modules composant le système OPTI-CHANNEL.

Planification des Projets

Ce module permet de représenter les demandes en activité de l'entreprise : émissions à produire, tâches de diffusion, activités récurrentes ou exceptionnelles, etc., puis de les planifier dans le temps.

COSYTEC <http://www.cosytec.com>

Complex Systems Technologies



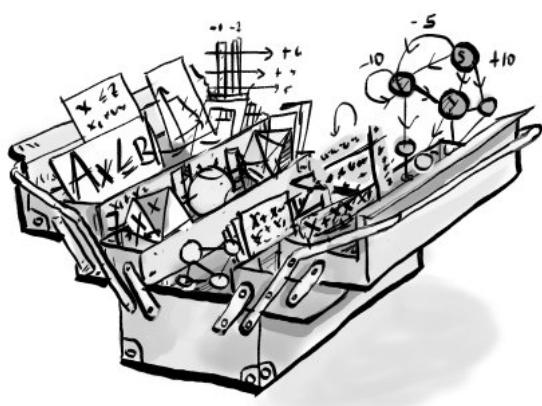
Simulation / Plan de Charge

À partir de la formulation d'hypothèses concernant une grille de programmes en cours d'élaboration, le module Plan de Charge permet de simuler leur impact en termes d'occupation des ressources et de coût financier. Du fait de cette vision long terme de la production (une année), il est ainsi possible de restituer tous les éléments essentiels à l'élaboration d'un budget et au dimensionnement des effectifs des équipes. L'optimisation du plan de charge est réalisée par un module solveur à base de technologie de *programmation par contraintes* de COSYTEC.

Les résultats obtenus

Au niveau quantitatif, la mise en œuvre du système, associée à une nouvelle organisation de la planification a permis d'atteindre, dès la première année,

les objectifs fixés par la TSR en termes de réduction des coûts d'exploitation. Un élément central a été l'optimisation du plan de charge, la TSR pouvant élaborer finement très en amont ses budgets de production et produire ainsi une planification prévisionnelle puis opérationnelle, en parfaite adéquation avec les variations d'activités inhérentes au métier audiovisuel. D'un point de vue qualitatif, la mise en place du système OPTI-CHANNEL a permis d'améliorer l'organisation du travail et la communication (transparence) entre les différents services et collaborateurs. Les plannings ont également gagné en qualité : respect de la réglementation, meilleure prévision, équité entre collaborateurs, etc.



INDUSTRIE MANUFACTURIERE

ALMA

Placement et découpe, une quête de 30 ans

Votre chemise, le paquebot *Queen Mary II*, la pelleteuse qui creuse au coin de la rue, le toboggan en bois du jardin d'enfants ont en commun qu'au cours du processus de fabrication, on a découpé les pièces qui les composent dans un matériau plat. Quand on sait que le prix d'un vêtement sortie d'usine est composé pour 50 % à 80 % du coût du tissu, on imagine que les fabricants ont cherché à économiser le tissu. Pour tous les exemples cités ci-dessus, dépenser le moins de matière première c'est d'abord imbriquer au mieux les pièces qui composent ces produits. Depuis 30 ans, ALMA s'est fait une spécialité de développer des logiciels qui répondent à cette problématique.

Pour cela ALMA a, dès le départ avec le logiciel Rimbaud, combiné les capacités de l'homme et de l'ordinateur. Mais nous avons toujours été animés par le défi de faire mieux avec un logiciel que les placeurs professionnels, voire que les meilleurs d'entre eux. Cette quête, comparable avec celle des programmes d'échecs, a abouti dans les mêmes années que pour ceux-ci : depuis une petite dizaine d'années, notre logiciel fait, en moyenne, mieux que les meilleurs professionnels, et ce dans un temps beaucoup plus court.

Méthodes

Il serait fastidieux et impossible dans ce bref texte de rentrer dans le détail des heuristiques que nous employons. Disons simplement qu'on retrouve souvent au cœur de celles-ci des outils classiques de la recherche opérationnelle et de la géométrie algorithmique.

Nous avons, dans les années quatre-vingts, testé le recuit simulé sans arriver à une implantation industriellement opérationnelle mais nos heuristiques actuelles ont largement appris de cette tentative.

Autre exemple, nous utilisons la programmation linéaire en nombres entiers quand il s'agit d'optimiser sur plusieurs surfaces et la programmation linéaire simple dans la phase finale dite de post-optimisation.

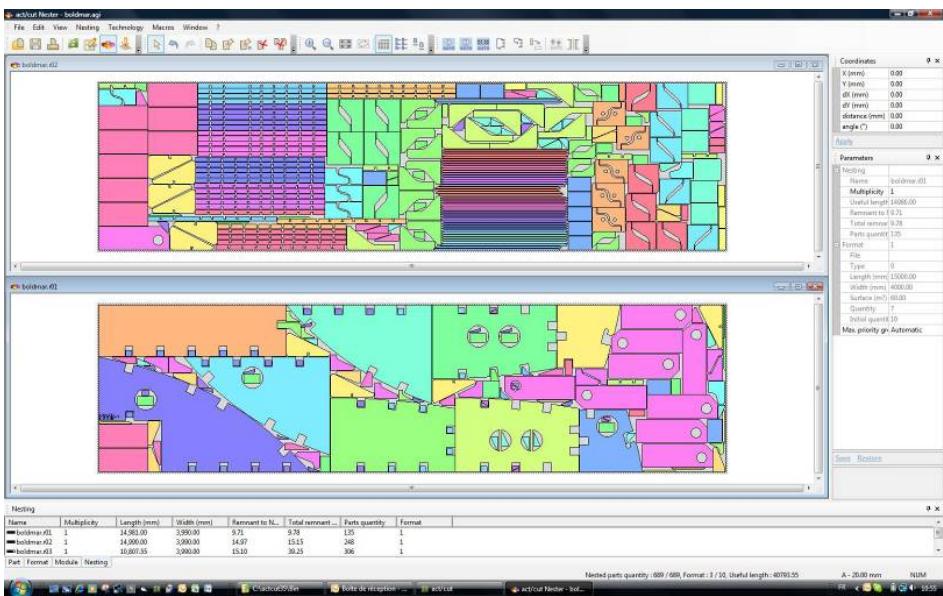
Dans une configuration donnée, si les pièces peuvent bouger uniquement en translation, est-il possible de raccourcir un peu la longueur du placement ?

Dantzig avait déjà vu que ceci pouvait être résolu par un programme linéaire. Si de plus, on accepte des petites rotations, une suite de programmes linéaires permettra d'y arriver. À chaque placement que notre logiciel produit, ce sont souvent des centaines de programmes linéaires qui sont résolus.

Utilisation industrielle

Le moteur d'imbrication d'ALMA avec plusieurs dizaines de milliers d'utilisateurs est un des plus (voire le plus) employés au monde que ce soit avec notre composant PowerNest ou avec notre gamme act/cut destinée principalement aux métiers de la tôlerie.

Par exemple, la grande majorité des chantiers navals européens et de nombreux chantiers dans le monde sont équipés du logiciel d'Alma. Depuis l'ouverture d'ALMA China, c'est aussi le cas de chantiers chinois, comme Wenchong. Ce dernier a effectué une étude des économies d'acier apportées par l'adoption d'act/cut : le taux d'utilisation des tôles est passé de 84,8 % à 89,1 %, ce qui a économisé environ 400 tonnes d'acier sur le bateau qui a servi à cette étude.





Les gains induits par le placement automatique varient suivant les industries et la qualité des placeurs manuels qu'il concurrence mais un des avantages est la qualité constante qu'il assure.

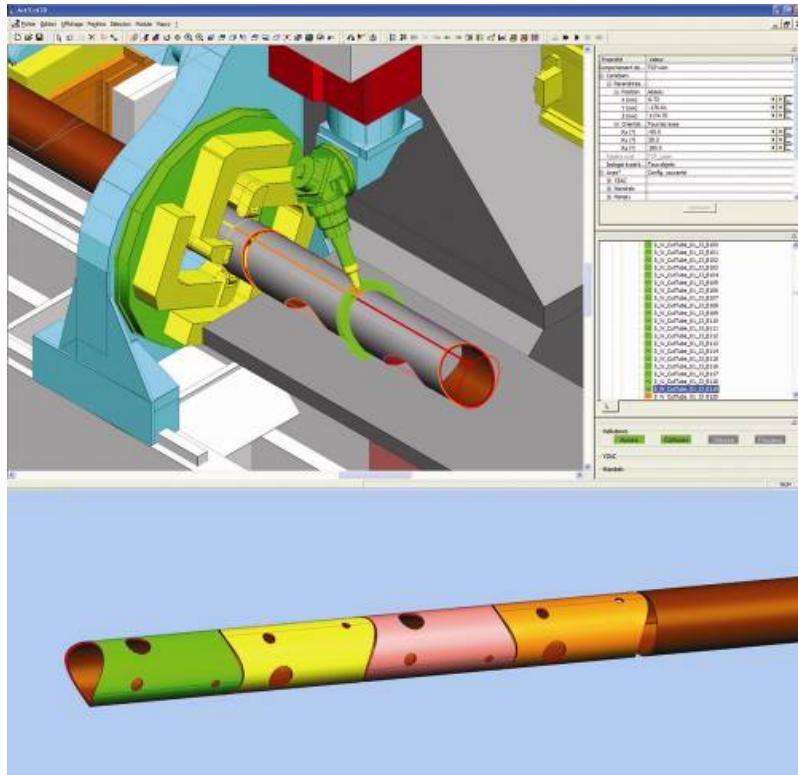
L'inépuisable complexité du réel

Toute modélisation est réductrice mais un logiciel destiné à l'industrie doit, pour être utile, « coller » suffisamment au réel. Depuis 30 ans, une grande part de notre travail consiste à prendre en compte des contraintes ignorées du problème académique tel que nous l'avons décrit jusqu'ici.

Par exemple, un tissu dont la coloration n'est pas homogène revient moins cher. Cette coloration sera plus intense en milieu de laize qu'au bord, si les deux demi-devants de votre veste ne sont pas placés à distance presque égale du milieu, vous aurez un air clownesque. Les tissus rayés ou à carreaux, la découpe multi-chalumeau en tôlerie, le défaut du matériau, le veinage du bois, la prise en compte des outils de découpe... sont autant de particularités qui doivent être traitées pour rendre la recherche d'un bon placement vraiment opérationnelle.

Cette inépuisable complexité du réel, ce renouvellement constant des

problématiques industrielles, s'ils sont quelquefois désespérants (toute cette belle modélisation qui ne fonctionne plus), sont la source de constants défis et donnent au travail à ALMA une saveur voisine de celle des laboratoires de recherche.



ALMA développe aussi des produits pour d'autres problèmes d'imbrication : tubes, blocs 3D, etc. ainsi que les logiciels de pilotage des machines correspondantes.

RENAULT

Quelques cas concrets

Nous illustrons l'utilisation de l'optimisation avec quelques situations concrètes, celles du prévisionniste commercial, du planificateur en usine de montage, superviseur des transports pièces, du chargé d'études coûts des ventes et enfin du gestionnaire de la gamme produit. Ces cas concrets reflètent la diversité des problématiques traitées par l'optimisation.

Vue Moteur/ESR - OPER (*) - 2001/10									
Modèle	REN Royaume Uni		REN Belgique		REN Pays Bas		REN Suisse		Total
	DemFab	FabCalc	DemFab	FabCalc	DemFab	FabCalc	DemFab	FabCalc	
D4F	4646	4619	289	275	170	162	156	156	156
D7F	729	949	505	480	237	226	46	46	46
F4P	1056	1056	106	106	938	938	109	109	109
F4R	581	552	219	219	358	358	505	505	505
F5R	725	725	24	24	283	283	299	299	299
F8Q	520	497	369	353	112	107	3	3	3
F9Q	2121	2026	2927	2796	1343	1340	219	219	219
G9T	275	262	272	259	184	175	36	36	36
G9U	126	120	61	58	0	0	27	27	27
K4J	2122	2122	259	247	376	375	240	240	240
K4M	3169	3169	314	314	928	928	459	459	459
K7J	25	161	42	82	53	67	13	13	13
K9K	743	706	482	458	89	85			

Figure 1 : tableau de travail d'un prévisionniste

Chaque mois, les **prévisionnistes** de la Direction du Marketing récupèrent les prévisions de ventes de véhicules de la part des filiales commerciales, et les « ajustent » afin qu'elles soient compatibles avec l'offre produit RENAULT et les capacités de fabrication des usines, le tout dans le but de déterminer les fabrications qui seront demandées aux usines. Comment « brasser » les milliers de chiffres que représentent ces prévisions par modèle, version, option lourde, et ce mois par mois sur un horizon de deux ans, et modifier « à minima » ces chiffres pour qu'ils rentrent dans le cadre des capacités des

usines, le tout en répartissant équitablement les ajustements à la baisse en cas de pénurie ? Réponse : en ayant recours à un algorithme d'optimisation (le « goal programming » en programmation linéaire) qui a pour objectif de minimiser la « déformation » des prévisions pour respecter les contraintes de fabrication. Cet algorithme a été mis en œuvre dans les applications de planifications commerciale et industrielle.

Chaque jour, dans les usines de montage, un **planificateur** doit construire le « film » véhicules d'une journée de fabrication, c'est-à-dire trouver l'ordre « idéal » dans lequel les véhicules doivent être fabriqués dans la journée, de telle façon que les rafales de véhicules de même couleur soient les plus longues possibles (on économise ainsi le solvant utilisé à chaque changement de couleur) et que les véhicules difficiles à assembler (car comportant des options lourdes) soient le plus espacés possible. Comment faire, sachant qu'il y a des milliards de milliards d'ordres possibles de véhicules à l'intérieur d'une journée de fabrication ? Réponse : utiliser un algorithme d'optimisation (« le recuit simulé » en l'occurrence), qui va explorer de manière « perspicace » un nombre restreint de possibilités (quelques centaines de milliers tout de même !) pour produire une très bonne séquence de véhicules. Cet algorithme a été mis en œuvre dans l'application de planification et d'ordonnancement des véhicules en usine.

Sur cette problématique, nous avons adopté une démarche originale pour améliorer les performances de l'algorithme. Nous avons soumis notre problème d'ordonnancement à une compétition universitaire organisée par la ROADEF, le challenge ROADEF en 2005. Les vainqueurs de la compétition, trois thésards de l'université de Marseille, ont développé un algorithme produisant des résultats au-delà de nos espérances. Nous avons acquis les droits sur cet algorithme et intégré le module dans notre SI opérationnel en 2007. Cette « collaboration » avec le monde universitaire a suscité un grand intérêt au sein de l'entreprise.



Figure 2 : film véhicules d'une chaîne de montage (extrait)

Quotidiennement, le superviseur des transports pièces doit analyser la qualité du remplissage des camions transportant les pièces des fournisseurs vers les usines de montage. Il s'agit d'optimiser la constitution des piles de palettes de pièces, et le placement de ces piles dans un camion, en respectant un très grand nombre de règles métiers sur le chargement. Pour ce faire, un algorithme spécifique a été développé pour le remplissage des camions, ainsi qu'un outil de visualisation 2D et 3D des plans de chargement.

■ Camion P350642701

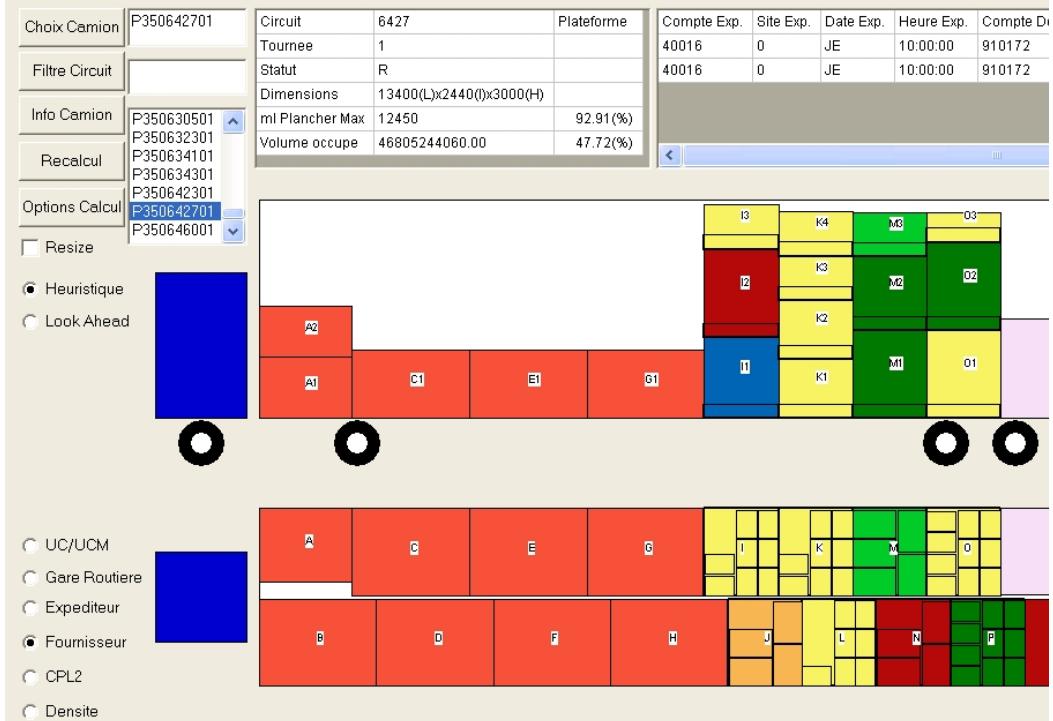


Figure 3 : vues de dessus et de gauche du remplissage d'un camion avec des palettes de pièces (aperçu)

Lors de la conception d'un nouveau modèle, le **chargé d'études coûts des ventes** réalise pour chaque pièce une étude de sourcings permettant de sélectionner le(s) meilleur(s) fournisseur(s) mondiaux pour produire la pièce et approvisionner les usines RENAULT, en tenant compte des frais d'études internes et chez le fournisseur, des investissements d'outillage chez le fournisseur pour mettre en oeuvre les capacités adéquates, de la planification des décaissements de ces investissements pour optimiser la trésorerie, d'éventuels carry-over avec des solutions techniques adoptées antérieurement, des prix d'achat, des coûts logistiques, des frais de douane... la liste n'est pas exhaustive ! Très naturellement, l'optimisation a été mise à contribution (via la programmation linéaire en nombres entiers) pour assister le chargé d'études dans ses différents scénarios de sourcing.

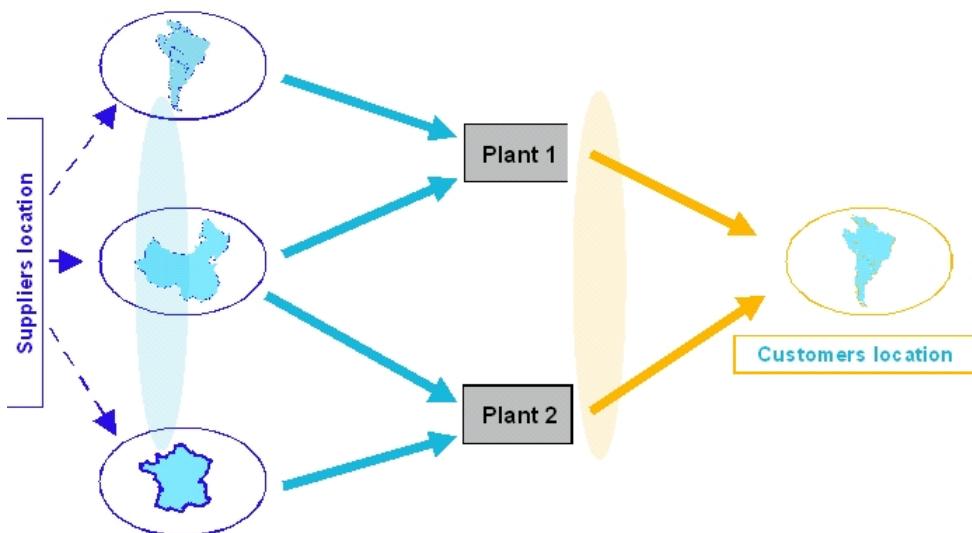


Figure 4 : sourcing fournisseur

En 1973, Robert Tarjan, un universitaire d'origine hongroise, conçut à l'université de Cornell (état de New York) un algorithme destiné à calculer de manière optimisée le nombre de circuits élémentaires dans un graphe orienté. Il ne se doutait pas que 37 ans plus tard, nous utiliserions son algorithme pour calculer la complexité de la gamme véhicules RENAULT ! En effet, la complexité de la gamme (au sens où elle est difficile à intégrer dans les SI du marketing) peut être représentée par l'aspect « spaghetti » du graphe des contraintes reliant les équipements proposés en option. On peut quantifier cet aspect « sac de nouilles » par le nombre de boucles présentes dans le graphe (calculé par l'algorithme de Tarjan), multiplié par le nombre de nœuds du graphe. Cet indicateur de complexité permet aux gestionnaires de la gamme produit d'anticiper sur la complexité à venir des nouveaux modèles et de mettre en œuvre préventivement des plans d'actions de simplification de la gamme.

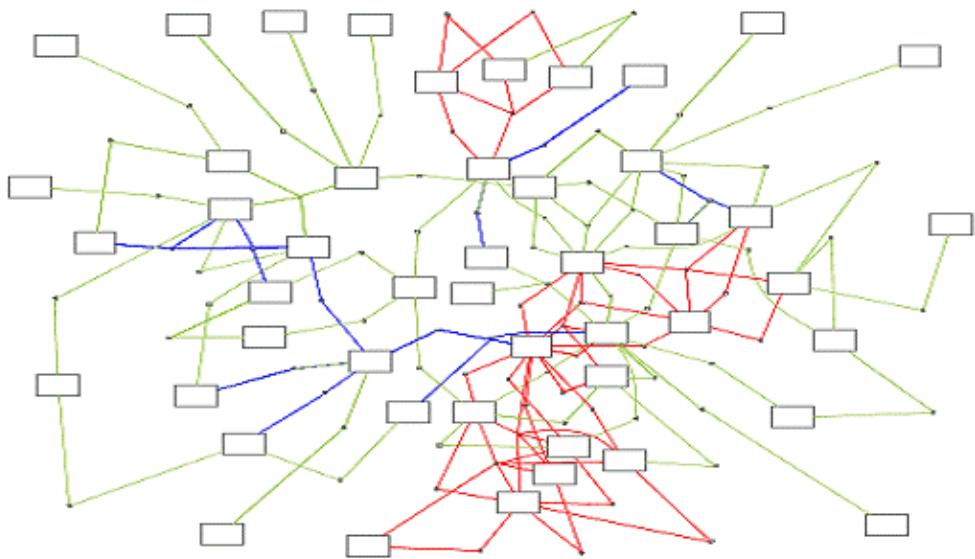


Figure 5 : graphe des contraintes d'un modèle de la gamme

CONSTRUCTION

BOUYGUES - COLAS – Maintenance d'un réseau routier

Plusieurs villes du Royaume Uni, pour remettre à niveau et maintenir en bon état d'usage leur réseau routier, proposent au secteur privé, en concession, et pour une période de 25 ans, l'intégralité de leur voirie. L'état du réseau est caractérisé par la moyenne pondéré des indices (portance, adhérence, visuel) des sections de routes qui le composent. On compte ainsi, pour une ville de 200000 habitants plus de 1000 sections ainsi notées par ces 3 indices. Charge au concessionnaire de maintenir l'ensemble du réseau à une moyenne définie contractuellement et pour chaque année par la ville. Toute défaillance se traduit par une pénalité proportionnelle à l'écart à la qualité de service requise. Une succession de défaillances peut entraîner la remise en cause du contrat. Localement, une route est également sujette à pénalité forfaitaire si un seuil critique n'est pas atteint par ses indices. Afin de répondre à un tel appel d'offre, il est important de prendre en compte, non seulement le profil de dégradation de l'état d'une route au cours du temps mais aussi la nécessaire coordination des opérations de maintenance sur les différentes routes de façon à maintenir le niveau du réseau à un niveau optimal pour le concessionnaire, étant donné le jeu de règles et de pénalités défini par la mairie. Pour une telle décision, qui engage l'entreprise pour 25 ans, il est donc opportun de réaliser une planification prévisionnelle optimisée afin d'estimer le prix au plus juste. Le e-lab a réalisé en 2004 une mission de conseil sur ce thème, développant en une trentaine de jours un prototype permettant de planifier en quelques minutes les opérations de maintenance en minimisant la somme des pénalités et des coûts des opérations.

À base de relaxation lagrangienne (ou « décomposition par les prix ») et de recherche locale, ce modèle permettait également d'évaluer des variantes du contrat ou des scénarios de risque et servait

ainsi de base de dialogue avec la mairie.

Cet appel d'offre lancé par la ville de Portsmouth a été finalement obtenu par Colas en Juillet 2004 pour 500 millions de livres Sterling.



TRANSPORTS

AIR FRANCE – ARCHIPEL

La planification mensuelle du personnel navigant est un élément clé dans la gestion de l'activité de la compagnie, c'est aussi l'un des problèmes de planification les plus complexes de l'industrie, à laquelle il faut pouvoir répondre en quelques heures.



Archipel, l'outil d'aide à la planification des PNC (Personnel Naviguant Commercial) long-courrier, a été mis en production en août 2002, 18 mois après son lancement. En moins de trois heures CPU, il est capable de préparer le planning de 10 000 hôtesses et stewards. C'est un outil très complet dont les plannings fournis sont ensuite traités par les utilisateurs - les agents d'élaboration - qui les finalisent qualitativement. À l'instar des autres outils Sextant et Opale 2 contenant des moteurs réalisés au département de recherche opérationnelle, qui élaborent les plannings des personnels navigants moyen-courrier, ARCHIPEL affecte les rotations et les repos, mais

également un grand nombre d'« activités sol » comme les visites médicales et certains stages de formation. Il intègre les contraintes réglementaires, les pratiques sociales d'AIR FRANCE : la maîtrise de l'ensemble des informations dote l'outil d'une vision globale qui permet d'assurer des gains économiques, un meilleur équilibrage et une meilleure équité entre les personnes, tout en maximisant certaines préférences exprimées par le personnel navigant.

Alors qu'en juin 2001, ARCHIPEL était un prototype destiné à évaluer une faisabilité et devant la perspective d'une augmentation de la population des personnels navigants, les responsables du planning ont souhaité une mise en production accélérée à laquelle la maîtrise d'ouvrage, la ligne de produit informatique et la recherche opérationnelle se sont adaptées avec succès. Et depuis sa mise en production, grâce à son architecture intégrant un moteur de règles, l'outil a pu évoluer régulièrement au gré des modifications de réglementation.



AIR FRANCE – ORA Plus

AIR FRANCE est chargée par délégation de gestion d'AÉROPORTS DE PARIS, de l'affectation de l'ensemble des parkings avions à CDG2. L'application ORA Plus, en production depuis juin 2007, traite cette affectation des parkings à J-1 et innove en prenant en compte l'optimisation des flux de correspondance passagers entre les points de débarquement et d'embarquement. ORA Plus permet également d'effectuer une régulation le jour J sans dégrader l'optimisation des flux de correspondance.

C'est un des outils névralgiques du hub car la maîtrise de l'affectation parking y est stratégique. En effet, les points de parking ont un impact direct sur la performance opérationnelle de CDG2 : réussite des correspondances passagers et bagages, déplacement des équipes, maîtrise de la ponctualité. De plus, l'enjeu économique est de taille car une correspondance manquée par un passager coûte cher.

Grâce à son moteur d'optimisation, ORA Plus peut optimiser en moins de dix minutes le taux de contact passagers ainsi que les correspondances. Et cela, tout en garantissant le respect des nombreuses contraintes aéroportuaires, comme par exemple la prise en compte de l'encombrement généré par le positionnement d'un gros porteur sur un parking pour les parkings attenants. Enfin, s'agissant d'un outil de gestion des opérations, la robustesse des solutions est un critère important qui a été intégré pour garantir le succès de son utilisation.

Depuis sa mise en production, ORA Plus démontre quotidiennement sa fiabilité dans la gestion des points de parking et a contribué à l'amélioration du traitement des passagers en connexion sur le hub.

SNCF - PRESTO

La planification de l'utilisation des matériels roulants, autrement dit leur roulement dans le jargon ferroviaire, reposait sur la seule expertise humaine... jusqu'à ce que la Recherche SNCF se penche sur la question et donne naissance à PRESTO, un moteur d'optimisation pour la gestion des engins moteurs. Les objectifs de cet outil :

- construire et optimiser les roulements de matériel roulant, en tenant compte des opérations techniques non commerciales telles que la maintenance et le repositionnement des engins ;
- gagner du temps sur la conception et l'adaptation des roulements d'engins ;
- offrir une aide à la décision aux concepteurs métier en leur permettant d'envisager et de tester différents scénarios.

Forte d'une quarantaine d'années d'expérience dans l'étude du problème, la SNCF a commencé la conception de PRESTO en 2002 avec une thèse CIFRE en partenariat avec l'université Paris 13 sur la « construction optimisée de roulements d'engins ». Ces travaux conduisent à la réalisation d'un moteur de calcul basé sur de la programmation linéaire en nombres entiers et des algorithmes heuristiques. Ce calculateur a été conçu comme une brique logicielle générique et paramétrable, apte à traiter plusieurs types de problèmes de gestion de matériel roulant et offrant ainsi de nombreuses possibilités d'adaptation aux diverses activités SNCF.

Le module PRESTO doublement industrialisé

Fret SNCF et SNCF Proximités, en quête d'une solution adaptée à leurs spécificités, se sont saisis des vastes possibilités d'évolution de PRESTO pour développer en interne leurs propres outils de conception et d'optimisation de roulement d'engins. Fin 2006, une petite équipe mixte DSIT (Direction des Systèmes d'Information et des Télécommunications) et DI&R dédiée au projet d'industrialisation de PRESTO se constitue. Des groupes de travail permettent d'appréhender les processus, les points durs et les « ficelles » du métier, d'identifier les processus communs aux activités, ainsi que les spécificités liées aux engins (électrique/diesel, rame/locomotive) ou aux régions. À l'issue de 18 mois de travaux, deux versions du module PRESTO sont intégrées dans les

nouveaux logiciels de gestion des roulements des matériels roulants, que sont respectivement PERL pour le Fret, et SIERRA pour Proximités. Courant 2008, une dizaine de tests grandeur nature sont effectués avec plusieurs régions. Preuve est faite de la faisabilité de l'industrialisation de PRESTO, et un travail est lancé fin 2008 avec SNCF Voyages pour l'étude de nouveaux outils de planification et de gestion de ses rames TGV.

Aide à la décision opérationnelle mais aussi stratégique

Le temps gagné sur la construction des roulements d'engins avec PRESTO est énorme, puisqu'un roulement optimisé s'obtient en quelques minutes ou dizaines de minutes, alors qu'il fallait deux à trois semaines aux concepteurs métiers pour mener à bien cette tâche.

Dès lors, le métier de concepteur/adaptateur de roulement s'oriente vers l'approfondissement des expertises les plus fines acquises au fil du temps. Il s'agit par exemple d'intégrer les contraintes liées au roulement des agents de conduite, de mesurer les potentiels d'optimisation de coûts en jouant sur les diverses contraintes et paramètres, ou encore d'étudier des scénarios variés. C'est ainsi que, grâce à SIERRA, la SNCF a pu répondre en urgence à un Conseil Régional qui demandait une déclinaison de scénarios de roulements avant de renégocier sa convention.

De façon plus générale, la réactivité et la souplesse offertes par SIERRA et PERL ouvrent de larges perspectives en termes d'arbitrage et d'études. Il est désormais beaucoup plus facile de remettre à plat un roulement et de partir d'une feuille blanche pour se projeter dans le futur. Un atout de taille lorsqu'il s'agit de travailler sur la refonte de l'offre commerciale lors de l'ouverture d'une nouvelle ligne à grande vitesse, ou bien à la mise en place du cadencement. Autant de projets qui modifient en profondeur la circulation des trains, et donc nécessitent de repartir de zéro pour concevoir les roulements des engins.

SNCF – SIOUCS

Ce projet a débuté en août 2008 quelques jours après qu'une caténaire eut été arrachée sur une longueur de 400 mètres près d'Aubagne. Cela avait nécessité de faire passer les trains sur une seule voie pendant plusieurs heures, ce qui avait entraîné plusieurs heures de retard pour de nombreux TGV et Corail. À cette date-là, la direction de l'Innovation et de la Recherche étudiait les apports possibles des outils d'aide à la décision pour la gestion des travaux. La problématique du croisement des trains en IPCS (Installation Permanente de ContreSens) ou en VUT (Voie Unique Temporaire) lorsqu'une voie est interceptée avait été identifiée, et des liens avec des modèles dérivés de la théorie de l'ordonnancement avaient été établis. Grâce à ces réflexions plutôt théoriques, il a très vite paru possible de modéliser rapidement ce qui s'était passé à Aubagne.

Très vite, un premier prototype

Ainsi, après quelques jours de programmation, un algorithme tournait et montrait comment le croisement des trains sur le tronçon de voie unique aurait pu être organisé pour minimiser les retards. La solution de ce modèle théorique montrait un gain cumulé de plusieurs dizaines d'heures par rapport à ce qui s'était passé le jour de l'incident. Ce gain était bien sûr théorique car toutes les difficultés rencontrées dans la journée n'avaient pas été mises dans le modèle, mais il montrait l'intérêt potentiel d'un tel outil pour la conception d'un graphique de crise. Le temps de calcul d'une trentaine de secondes montrait que l'approche envisagée était viable pour une prise de décision en temps réel.

Puis un outil utilisable

Pour finir cette phase d'émergence, il fallait avoir la confirmation, auprès des utilisateurs potentiels, de l'intérêt d'un tel outil. Le prototype a ainsi été présenté en novembre 2008 à des représentants de RFF et de la direction déléguée à l'exploitation (IEX, aujourd'hui Direction de la Circulation Ferroviaire) qui nous ont encouragés à continuer les travaux pour passer du modèle d'Aubagne à un logiciel utilisable à tout moment et en tout point du réseau.

SIOUCS - Sennecey-le-Grand 00—Varennes-le-Grand 00

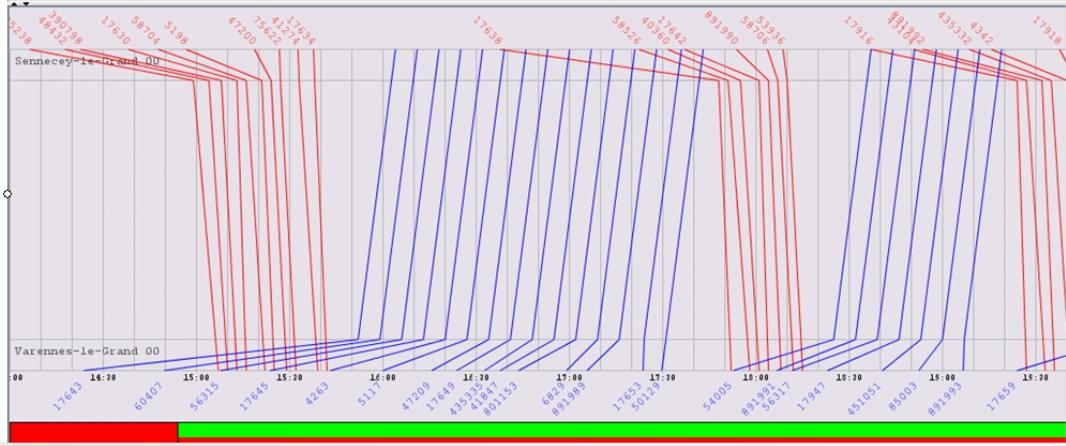
Trains | Paramètres | Statistiques

Sennecey-le-Grand 00—Varennes-le-Grand 00

Train	Théorique	Arrivée	Traversée	Attente	Retard	Passage	Sortie	Active
1 85238	14:07	14:07	8	52	52	14:59	15:07	✓
1 48432	14:18	14:18	6	46	46	15:04	15:10	✓
1 390798	14:23	14:23	5	45	45	15:08	15:13	✓
1 17630	14:38	14:38	3	35	35	15:13	15:16	✓
1 58704	14:48	14:48	6	28	28	15:16	15:22	✓
1 5198	14:57	14:57	4	24	24	15:21	15:25	✓
1 47200	15:19	15:19	5	5	5	15:24	15:29	✓
1 75622	15:27	15:27	5	0	0	15:27	15:32	✓
1 41274	15:33	15:33	6	0	0	15:33	15:39	✓
1 17634	15:38	15:38	4	0	0	15:38	15:42	✓
1 17638	16:38	16:38	4	70	70	17:48	17:52	✓
1 58526	17:23	17:23	7	28	28	17:51	17:58	✓
1 40360	17:32	17:32	6	23	23	17:55	18:01	✓
1 17642	17:37	17:37	3	24	24	18:01	18:04	✓
1 891990	17:54	17:54	4	10	10	18:04	18:08	✓

Varennes-le-Grand 00—Sennecey-le-Grand 00

Train	Théorique	Arrivée	Traversée	Attente	Retard
1 17643	14:24	14:24	4	88	96
1 60407	14:50	14:50	6	69	75
1 56315	15:08	15:08	5	58	65
1 17645	15:24	15:24	4	49	57
1 4263	15:43	15:43	3	37	46
1 5117	16:00	16:00	3	27	36
1 47209	16:16	16:16	6	18	24
1 17649	16:24	16:24	4	17	25
1 435335	16:33	16:33	5	15	22
1 41847	16:38	16:38	6	17	23
1 801153	16:44	16:44	6	18	24
1 6829	16:59	16:59	3	10	19
1 891989	17:06	17:06	4	10	18
1 17653	17:24	17:24	4	0	8
1 50129	17:30	17:30	5	1	8



Options de barre d'outils

Le projet a donc été monté pour atteindre ce but, avec un cahier des charges rédigé par le « client » et le Centre National des Opérations Ferroviaires (CNOF) comme utilisateur cible. La direction déléguée au système d'information de SNCF Infra (ISI) était associée dès ce moment-là pour répondre à des choix techniques et pour mieux anticiper l'industrialisation du futur logiciel. Le nom de SIOUCS a été donné au logiciel pour « **Sillons Optimisés par l'Utilisation du ContreSens** ».

Les développements se sont alors enchaînés sur le premier semestre 2009 dans un mode de gestion de projet agile impliquant des échanges réguliers, environ une fois par mois, avec les utilisateurs. Des stagiaires à IEX ont modélisé des cas réels, ce qui a permis de déceler et corriger plusieurs bugs.

Les discussions avec le CNOF ont permis d'améliorer l'ergonomie du logiciel. En particulier, alors qu'une version initiale de SIOUCS récupérait les trains via une interface web, il a finalement été demandé à ISI de développer un module spécifique pouvant interroger directement la base de données et ainsi être mieux intégré dans le logiciel. La simplicité d'utilisation de l'interface homme-machine (IHM) était en effet un critère jugé indispensable pour que le prototype soit validé en conditions réelles.

Ces tests ont finalement pu être effectués pendant l'été 2009 au CNOF et dans les Centres Opérationnels de Gestion des Circulations (COGC). Ils ont montré que SIOUCS permettait de trouver en quelques secondes des solutions qui convenaient généralement aux exploitants du réseau. Le modèle était ainsi validé par le métier. Le principal apport de cet outil d'aide à la décision a donc été la rapidité du calcul. Cette rapidité offre en effet la possibilité de présenter rapidement sur un écran une solution aux différents utilisateurs du réseau, et de discuter de manière interactive de différents scénarios simulant l'annulation ou le détournement des trains.

SOCIÉTÉS DE CONSEIL ET EDITEURS DE LOGICIELS

Nous donnons ici les spécificités des sociétés dont la mission principale est d'aider les industriels à mettre en place des systèmes d'aide à la décision. Il y en a relativement peu en France, et seules les grandes sociétés y font généralement appel. Le besoin étant parfois mal exprimé dans les petites entreprises, les priorités de celles-ci étant souvent ailleurs que dans l'optimisation, on peut estimer que le marché réel permettrait d'accueillir beaucoup plus d'intervenants indépendants si la recherche opérationnelle était mieux connue dans le monde industriel.

ALMA

En 1979, des chercheurs en mathématiques appliquées de l'université de Grenoble créent une structure de valorisation entre l'université et l'industrie et fondent Alma, une société coopérative (Scop). ALMA conçoit alors RIMBAUD⁶, premier logiciel industriel d'imbrication automatique de pièces de forme quelconque. Les premiers utilisateurs seront Petit Bateau pour la découpe de vêtements et les Chantiers de l'Atlantique (Saint-Nazaire), pour la construction du *Sovereign of the Seas*. ALMA propose alors un logiciel de FAO complet pour le pilotage des machines de découpe de tôle (dessin des pièces, imbrication, trajets d'outils et programme CN) puis développe une activité de niche, les logiciels CFAO pour la découpe et la tôlerie.

En 1996, via le rachat de Aleph Technologies, ALMA étend son domaine d'intervention à la programmation hors ligne des robots. En soudage à l'arc ou en découpe 3D, la programmation est faite sur l'ordinateur, sans immobiliser le robot. ALMA offre alors la gamme la plus complète de logiciels CFAO en tôlerie et mécano-soudure. En rachetant Sapex en 2002, ALMA devient leader sur le marché français et l'un des principaux acteurs européens du secteur.

En parallèle à ses logiciels d'application, ALMA commercialise certains de ses algorithmes (imbrication, calcul de trajectoires avec éviteme nt d'obstacles) sous forme de composants logiciels destinés à d'autres éditeurs ou à des constructeurs de machines de découpe (tôlerie, construction navale, textile, cartonnage...), ce qui lui procure une expertise technique précieuse pour le développement de ses logiciels d'application.

Les trois quarts du CA de l'édition de logiciels industriels sont réalisés à l'export. ALMA a créé plusieurs filiales ou joint-ventures pour être directement présent sur les marchés industriels importants : en Italie et en Allemagne dans les années quatre-vingt-dix, en Chine en 2007, au Brésil en 2009 et aux USA en 2010. ALMA s'est également développée dans d'autres secteurs (déploiement et gestion d'infrastructures informatiques, applications Intranet et de travail collaboratif pour la Qualité, intégration de solutions en CAO-PLM, GED, CMS...), et constitue aujourd'hui un groupe pluridisciplinaire de plus de 100 personnes réalisant un CA consolidé de 11 millions d'euros.

À travers son statut de société coopérative (Scop), ALMA a aussi instauré des pratiques originales en matière d'organisation et de participation.

⁶ Recherche d'IMBrications Automatisée pour la Découpe.

AMADEUS

Fondé en 1987, Amadeus est un groupe mondial de 10 000 personnes, fournisseur de technologies de l'information pour l'industrie du voyage. Son activité principale (et sur laquelle elle est leader mondial) est celle d'un *Global Distribution System (GDS)*, plate-forme de réservation centralisée pour les billets d'avion et de train, les nuitées d'hôtels et les locations de voitures. Une seconde activité plus récente est la fourniture de systèmes informatiques de gestion aux compagnies aériennes (systèmes d'inventaire, d'embarquement, de *revenue management*...). Le centre de développement principal est situé à Sophia Antipolis (2 500 personnes, plus de 1 000 sous-traitants). Au sein de la division développement, rattachée à son directeur, une direction de 35 ingénieurs regroupe la recherche opérationnelle et l'innovation.

Les ingénieurs sont en majorité titulaires d'un troisième cycle, ont une expertise dans un domaine de la recherche opérationnelle et une expérience du développement informatique. L'équipe comporte un tiers de non Français issus de tous continents.

La mission de l'équipe consiste à développer des modules d'aide à la décision ou d'optimisation qui puissent être intégrés dans des produits d'Amadeus.

Trois domaines principaux sont concernés : la planification et la régulation des opérations aériennes (affectation de flotte, gestion des perturbations, réaccompagnement de passagers), la gestion de la recette (prédition de la demande et optimisation des contrôles d'inventaire, adaptation temps réel de disponibilité) et les moteurs de recherche de voyage.

Dans tous ces domaines, les équipes produisent études, prototypes et démonstrateurs, s'engagent dans des projets pilotes avant de gérer et maintenir un logiciel en production. Les projets peuvent être issus d'une demande interne ou de celle d'une compagnie cliente.

Les méthodes les plus fréquemment utilisées sont la programmation mathématique, la simulation à événements discrets, l'analyse de données, les modèles prédictifs, et enfin, les algorithmes de graphes et les structures de données discrètes.

Le regroupement au sein d'une même direction des équipes de recherche opérationnelle et d'innovation permet un brassage stimulant entre une culture de recherche appliquée et une culture de projet et de service.

ARTELYS

Artelys est une société d'édition et de conseil spécialisée en optimisation. Elle accompagne ses clients dans l'élaboration des solutions les mieux adaptées pour leurs choix stratégiques et opérationnels. Cette offre s'appuie sur :

- Une expérience métier dans les domaines financiers et industriels ;
- Des compétences fortes dans l'aide à la décision, la modélisation de systèmes complexes, le conseil scientifique et la gestion de projets ;
- La maîtrise des méthodes et des outils d'optimisation numérique et de mathématiques décisionnelles les plus avancées.

Des solutions opérationnelles à des questions stratégiques

Gérer un portefeuille d'actifs de production, contrôler le risque, dimensionner des stocks, optimiser les capacités d'un réseau, définir des politiques d'achats, d'investissements ou de tarifs sont autant de questions cruciales, techniquement complexes, sur lesquelles Artelys apporte son expertise. Artelys intervient dans des secteurs d'activité diversifiés : énergie, finance, industrie automobile et transport, environnement, télécommunications, santé, défense.

Une offre globale et modulaire

Artelys offre des services allant de l'analyse fonctionnelle à la mise en place de solutions logicielles et d'outils opérationnels. En fonction des besoins de ses clients, Artelys peut réaliser des études ponctuelles ou prendre en charge globalement la réalisation et la mise en place opérationnelle de solutions en optimisation.

Notre système de valeurs

- *Compétence et expérience* : Artelys s'appuie sur les compétences d'une équipe pluridisciplinaire d'ingénieurs et/ou docteurs en optimisation, statistiques et informatique. Ils possèdent à la fois une connaissance théorique des technologies les plus avancées et une expérience pratique de leur mise en œuvre opérationnelle ; deux éléments clés pour répondre aux besoins des clients et leur offrir

rapidement des solutions pertinentes.

- Culture du résultat : À chaque étape d'un projet, Artelys formalise et justifie sa démarche, identifie et maîtrise les risques. Artelys s'engage pour l'ensemble de la prestation sur le résultat produit et les délais fixés.
- Satisfaction du client : Artelys agit en concertation avec le client pour vérifier dans la durée l'adéquation entre la prestation et le besoin. Artelys maintient un dialogue permanent avec ses clients tout au long du projet et produit à cet effet maquettes, spécifications, algorithmiques, résultats d'expérimentations.

Des produits logiciels pour l'énergie et les transports

Artelys édite Artelys Crystal, une suite logicielle d'optimisation pour les secteurs de l'énergie et des transports. Ce logiciel ouvert, évolutif et convivial permet de prévoir et d'optimiser la gestion des actifs et du risque.

Des composants d'optimisation numérique

Artelys distribue et assure le support technique de produits leaders mondiaux en optimisation numérique :

- FICO Xpress (FICO) : une suite logicielle complète pour la modélisation et la résolution de problèmes linéaires et quadratiques, avec ou sans variables entières ;
- KNITRO (Ziena Optimization) : un optimiseur non linéaire, utilisant les techniques d'optimisation les plus récentes et particulièrement efficaces pour la résolution de problèmes de grande taille.

Artelys conçoit et développe également ses propres composants d'optimisation numérique, tels que l'environnement orienté objet Artelys Kalis pour la modélisation et la résolution de problèmes par des techniques de programmation par contraintes. Artelys Kalis est intégré dans la suite logicielle Xpress et est distribué mondialement.

EURODECISION

Une organisation performante doit être capable de faire les meilleurs choix au meilleur moment, dans un environnement en constante évolution. Cette performance se traduit par exemple par la recherche d'une bonne couverture de besoins par des ressources. Les ressources peuvent être matérielles, humaines ou des actifs intangibles. Les questions à résoudre relèvent de problématiques métiers souvent complexes et entrelacées avec les processus de l'entreprise.

La recherche opérationnelle aide à modéliser ces paradigmes, à appliquer des techniques de résolution modernes et à intégrer les résultats obtenus dans la réalité quantitative. Le métier de « chercheur opérationnel » est un métier de niche à très forte valeur ajoutée ; il consiste à bâtir les critères d'évaluation de la performance, détecter les gisements d'amélioration dans les processus d'une entreprise, construire des solutions pour les exploiter et surtout, aider les décideurs à en faire un usage pertinent.

Depuis 1987, la démarche d'EURODECISION passe par une étude approfondie du métier, des processus le régissant et des bonnes pratiques de nos clients. Il en résulte aujourd'hui une équipe multidisciplinaire, à la fois centre d'expertise les méthodes de RO et d'aide à la décision (programmation mathématique, programmation par contraintes, approches multicritères, méthodes hybrides, heuristiques, théorie des graphes, programmation dynamique...), mais aussi sur de nombreux domaines métiers (transport public, industrie manufacturière, industrie lourde, services, tourisme) et enfin sur des domaines fonctionnels spécialisés (ressources humaines, logistique et supply chain, production, conception, gestion d'actifs, revenue management). Nos projets ne se résumant pas à la mise en place d'un ERP dans une organisation, il est indispensable de s'appuyer très tôt sur l'utilisation de maquettes et de prototypes, avec une forte implication d'experts du métier. Il est inévitable de réviser régulièrement les besoins et la manière d'y répondre. La méthodologie utilisée (CHIC2) est dédiée aux projets d'aide à la décision et a été mise au point à la fin des années quatre-vingt-dix dans le cadre d'un projet européen auquel participaient en particulier BOUYGUES, RENAULT et l'Imperial College. Cette méthodologie s'apparente aux méthodes de développement agile type SCRUM actuellement plébiscitées par les DSI.

Le savoir-faire d'EURODECISION s'est capitalisé au fil des applications dans un ensemble de composants d'optimisation métiers, librairies intégrables dans

des solutions complètes d'aide à la décision. Les prestations proposées vont de l'étude de faisabilité, de l'audit de système existant, à la réalisation de projets informatiques complets, éventuellement avec des partenaires intégrateurs. Pour les analyses ponctuelles sur des sujets stratégiques, nous proposons également des prestations de conseil confiées à nos « consultants quantitatifs ».

Comme toute PME innovante, EURODECISION vit dans un environnement en forte évolution. C'est pourquoi la R&D est une carte maîtresse de notre stratégie qui vise à proposer des solutions performantes et accessibles à des utilisateurs experts du domaine. L'Aide à la Décision implique la mise en place de solutions exigeantes en puissance des moteurs de calcul (modèles, solveurs, algorithmes utilisés, usage du parallélisme et de calcul haute performance) et en ergonomie (interfaces graphiques), en disponibilité et en intégration dans les systèmes d'information.

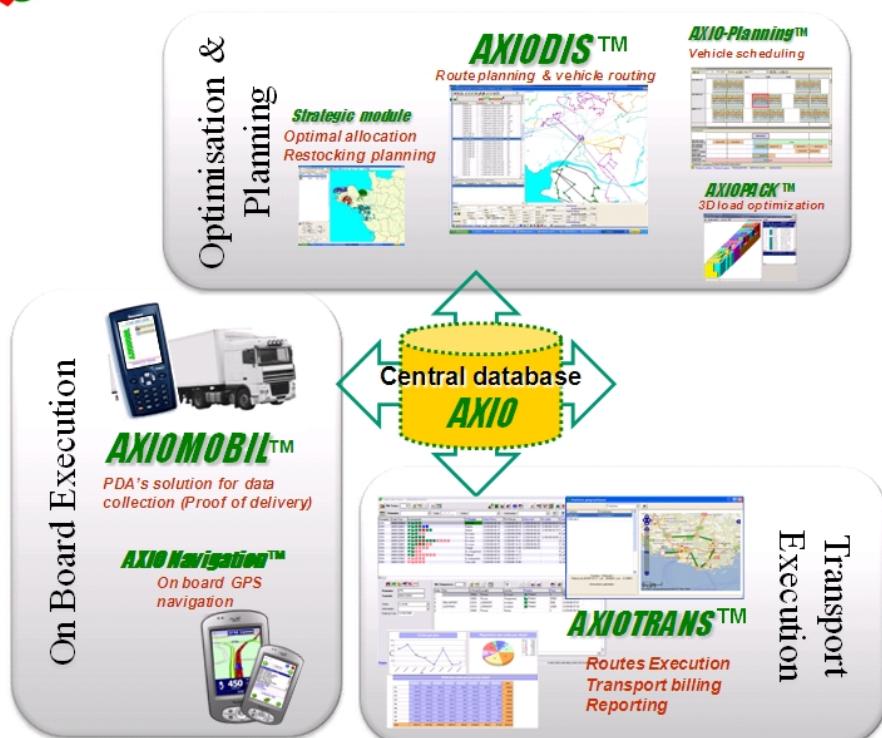
Plus de 20 % de notre activité sont dédiés à des projets à forte composante R&D comprenant des thématiques de recherche opérationnelle, architecture informatique et nouvelles technologies. L'innovation consiste aussi à challenger nos clients avec de meilleures solutions (en coûts ou en recettes) ou des solutions plus robustes face aux aléas. C'est un défi permanent dans un environnement économique où les managers sont soumis à des évolutions de marché ou de législation extrêmement rapides.

Nos clients sont essentiellement de grands groupes, pour lesquels les gains provenant de modèles quantitatifs relèvent de l'intérêt stratégique. Plus de 400 projets ont été réalisés dans le secteur du transport (AIR FRANCE, RATP, SNCF, VEOLIA TRANSPORTS, EUROTUNNEL, EUROCONTROL...), de l'industrie (RENAULT, ITALCEMENTI, ALCAN, THYSSENKRUPP, SIEMENS, ALSTOM, EUROCOPTER...), de l'énergie (EDF, TOTAL...), des services (LA POSTE, EUROPARK...), de l'administration, de la Défense, de l'agroalimentaire.

EURODECISION est une entreprise technologique de croissance (annuelle à deux chiffres depuis dix ans) ce qui reflète le dynamisme du secteur de la recherche opérationnelle en entreprise. L'équipe, une soixantaine de personnes en 2010, est composée de consultants et d'ingénieurs ayant une double formation en technologies de l'information et en recherche opérationnelle. Ils partagent la passion des mathématiques appliquées, des nouvelles technologies et le souci d'être un levier d'efficacité pour les décideurs qui font appel à leurs services.

OPTILOGISTIC

Créée en 1992, OPTILOGISTIC est une SSII éditrice de progiciels d'optimisation de tournées et de planification du transport, destinés aux métiers du transport et de la logistique. OPTILOGISTIC consacre une part significative de ses ressources à la recherche, et dans ce cadre collabore avec le monde académique spécialisé dans le domaine de la recherche opérationnelle (notamment l'Institut de Mathématiques Appliquées d'Angers). C'est un effectif actuel de vingt-deux personnes, dont une équipe de neuf spécialistes en recherche opérationnelle (dont quatre doctorants) encadrés par un conseiller scientifique.



Les problématiques étudiées concernent un large éventail du *supply chain management* : optimisation de tournées de véhicules, inventory routing, conception/dimensionnement de réseaux logistiques, achat de transport, planification de chauffeurs, etc.

Les approches de résolution couramment utilisées, tant sur la composante progicielle que sur les projets spécifiques réalisés par cette équipe, couvrent un large spectre de techniques : graphes, programmation mathématique (solver Xpress), dualité lagrangienne, méta-heuristiques, etc.

Les solutions de la société OPTILOGISTIC sont diffusées dans des secteurs d'activité très divers : grande distribution, industrie laitière (à un niveau international), industrie pétrolière, distribution de gaz, industrie agroalimentaire, industrie manufacturière, secteur automobile, transport, prestataires logistiques...

L'ensemble des activités ci-dessus représente à ce jour plus de 300 licences vendues des logiciels *AXIODIS*, *AXIOTRANS*, et *AXIOPACK*, auprès de plus de 120 clients, répartis dans près de 20 secteurs d'activité différents. Les solutions *AXIOMOBIL* et *AXIONAVIGATION* sont utilisées sur plus de 500 PDA embarqués dans des véhicules.

ORDEC SYS

La plupart des modèles de la recherche opérationnelle comportent des éléments incertains résultant soit d'une connaissance imparfaite des paramètres, soit de la variabilité intrinsèque de certaines données. Les incertitudes peuvent provenir d'erreurs de mesure sur les paramètres, d'erreurs d'estimation, ou de modélisation.

L'approche historique de ce problème s'est principalement appuyée sur une modélisation fondée sur la théorie des probabilités. Cette approche présente plusieurs types de difficultés. D'une part, l'approche statistique destinée à modéliser l'aléa peut être très lourde et difficile à valider. D'autre part, la résolution du problème « probabilisé » peut devenir matériellement impossible (dimensions trop grandes, non convexité, minima locaux, etc.). Subsistent les erreurs de modélisation qui, elles, n'ont pas de fondement probabiliste. Une illustration frappante en est fournie dans le deuxième livre cité en référence pour le problème de conception d'un système d'antennes de transmission. Formulé comme un problème d'optimisation classique, il apparaît que les performances effectives du système optimisé dépendent de façon cruciale de la capacité à positionner les objets physiques que sont les antennes à la position géographique exacte calculée par le modèle : une erreur très faible de localisation peut rendre le système inopérant.

L'approche robuste est plus pragmatique, basée sur un présupposé et un objectif. Le présupposé est que l'information sur les aléas est partielle et se résume souvent à des éléments simples comme une plage de valeurs possibles pour les coefficients incertains : de fait, elle ne peut pratiquement jamais être traduite en termes de distribution de probabilité. Quant à l'objectif, il est de faire en sorte que la prise en compte de l'incertitude dans la modélisation n'introduise pas de complexité numérique excessive. En termes plus précis, cela consiste à faire en sorte que le problème d'optimisation final à résoudre soit convexe et de taille raisonnable, donc toujours soluble. Pour réaliser cet objectif, l'optimisation robuste part du concept d'ensemble d'incertitude, ensemble rassemblant toutes les valeurs que peuvent « raisonnablement » prendre les paramètres. Une solution du problème sera dite robuste si elle peut être mise en œuvre (c'est-à-dire, si elle satisfait toutes les contraintes du modèle) quelles que soient les valeurs prises par les paramètres dans l'ensemble d'incertitude. Une définition judicieuse des

ensembles d'incertitude (ensembles polyédriques, ellipsoïdes) permet de formuler la version robuste d'un problème comme un problème de programmation convexe traitable par les codes d'optimisation moderne. Cette approche, qui évite les difficultés du calcul des probabilités, mais en perd aussi les justifications, peut sembler arbitraire. De manière surprenante, on peut cependant dans de nombreux cas quantifier une borne sur la probabilité qu'une solution robuste satisfasse la contrainte incertaine originelle.

Pour le praticien, la prise en compte de l'incertitude par l'optimisation robuste aboutit à des problèmes de programmation mathématique bien posés et de taille raisonnable pour les applications. De plus, le travail de modélisation et de programmation à effectuer pour passer d'une version déterministe à la version robuste est relativement modeste. Certains langages de modélisation, comme AIMMS, proposent même des extensions simples pour définir les ensembles d'incertitude et assurer la transformation du modèle déterministe en modèle « robuste ». En s'appuyant sur l'expérience métier du client, l'expérience de modélisation du consultant et une mise en œuvre reposant sur l'utilisation d'outils très répandus (progiciels de programmation linéaire ou non-linéaire), la « robustification » du problème de départ prend entre quelques semaines et quelques mois avec un retour sur investissement très court. En conséquence, le champ des applications industrielles est vaste et croît très rapidement. L'expérience d'ORDECYS a déjà été mise à contribution dans plusieurs études et projets comme :

- planification de la capacité de nouveaux réseaux de télécommunications tenant compte des incertitudes de prévisions de la demande (Orange Labs) ;
- impact des incertitudes sur les prévisions de la demande dans un modèle mondial du système énergétique du charbon (OSIRIS, EDF) ;
- étude de l'impact en Europe d'incertitudes dans les approvisionnements en énergie à travers un modèle mondial « bottom-up » de type TIAM ;
- gestion simultanée à court terme de barrages dans une vallée hydraulique avec incertitudes sur les apports d'eau (OSIRIS, EDF) ;
- gestion financière (EDF).

[1] F. Babonneau, J.-P. Vial and R. Apparigliato. Robust Optimization for environmental and energy planning, *to appear as a book chapter in the handbook on "Uncertainty and Environmental Decision Making" in Springer's International Series in Operations Research and Management Science*, 2010.

[2] A. Ben-Tal, L. El Ghaoui, and A. Nemirovski. Robust Optimization. Princeton University Press (Book under review), 2009.

COSYTEC

La mission de COSYTEC est d'offrir des solutions logicielles, à base de technologie de **programmation par contraintes**, pour résoudre des problèmes d'Optimisation des Ressources. Les solutions COSYTEC sont utilisées par les leaders de l'Industrie et des Services, souhaitant mettre en œuvre une optimisation de leurs processus métiers, spécialement dans les domaines tels que l'ordonnancement de production, la chaîne logistique (supply chain) ou encore la planification du personnel.

COSYTEC a été fondée en 1990 à Orsay et s'est depuis régulièrement développée. Ses fondateurs viennent de l'équipe conceptrice de CHIP à l'ECRC (European Computer-Industry Research Centre) et sont à l'origine de la technologie de programmation par contraintes.

Le produit central de COSYTEC est **CHIP V5**, outil de programmation par contraintes de seconde génération. Il offre le concept des contraintes globales dans un environnement d'architecture ouverte et représente le système de résolution de contraintes le plus avancé au monde.

COSYTEC offre ses services professionnels aux clients et partenaires sous forme de conseil, formation, support technique et développe des applications spécifiques pour mettre en pratique des systèmes avancés d'aide à la décision.

Les produits de COSYTEC sont utilisés dans 25 pays à travers le monde par de prestigieux clients dans un large éventail de secteurs : ALCATEL, ARC-INTERNATIONAL, BP, CANAL+, CASTORAMA, DASSAULT, EDF, ESSILOR, EUROCONTROL, FINA, MICHELIN, MITSUBISHI, MONSANTO, NWT, PEUGEOT, P & G, RFO, SAS, SOLLAC, SUMITOMO, SUN VALLEY, TSR, WAGONS LITS...

Un exemple de réussite industrielle est présenté dans cet ouvrage.

ILOG (IBM)

Le nom ILOG vient de « Intelligence Logicielle »⁷.

ILOG est un fournisseur mondial de composants logiciels d'entreprise et de services associés. Elle développe, commercialise et assure la maintenance de systèmes de gestion de règles métier, de composants logiciels d'optimisation et de visualisation.

- Les produits de BRMS ILOG permettant de redéployer rapidement des changements dans les politiques et procédures, de s'adapter aux changements du marché ou de l'industrie d'une façon rentable.
- **Les outils logiciels d'optimisation** d'ILOG permettent aux entreprises d'optimiser leur affectation de personnel et leurs ressources en équipement.
- Les composants logiciels de visualisation d'ILOG fournissent des interfaces graphiques utilisateurs aux développeurs qui créent des applications utilisées dans les domaines où il est important de visualiser les informations pour la gestion des opérations.

La société a été créée en 1987 par Pierre Haren, Marc Fourrier et Jérôme Chailloux, avec le soutien de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA). La société édite des composants logiciels et des applications qu'elle commercialise auprès des départements informatiques d'entreprises, d'autres éditeurs de logiciels et des intégrateurs de systèmes.

ILOG a commercialisé en 1987 ses premiers logiciels à des sociétés développant des applications logicielles. Ces clients utilisaient les composants ILOG pour ajouter des fonctionnalités à leurs applications logicielles. Les premiers composants logiciels ont été développés en Lisp. À partir de 1992, les produits ont été réécrits en C++. En 1993, la société a démarré la commercialisation de deux nouveaux produits, permettant aux clients d'ILOG d'ajouter des fonctionnalités à leurs applications comme de meilleures interfaces de visualisation (ILOG Views) ou des capacités d'allocation de ressources (ILOG Solver). Jusqu'en 1995, les ventes étaient principalement concentrées en Europe, et plus particulièrement en France.

⁷ Extrait de l'article Wikipedia sur ILOG.

En 1995, la société a commencé un développement commercial plus international en établissant une présence commerciale aux États-Unis (Californie) et en Asie. En 1997, ILOG a acheté l'activité de CPLEX Optimization Inc., ou CPLEX, située à Incline Village (Nevada), ce qui a apporté au groupe des moteurs de programmation mathématique linéaire pour l'industrie de la chaîne logistique.

À la fin des années quatre-vingt-dix, ILOG a introduit les premières versions Java de ses produits pour suivre les évolutions techniques. La société a par ailleurs introduit dans ses systèmes de gestion des règles métiers, ou BRMS, en 1996, qui permettent aux ingénieurs logiciels de gérer les règles régissant leurs applications. Le secteur des services financiers est le marché principal pour les produits BRMS d'ILOG, les utilisant par exemple dans le développement d'applications spécialisées dans la gestion de portefeuilles en ligne, ou dans la prise de décisions d'accords de crédits. La ligne de produits de BRMS est aujourd'hui la principale ligne de produits d'ILOG et génère la moitié du chiffre d'affaires de licence et maintenance.

En 2004, ILOG a introduit une version C# (Dotnet Microsoft) de certains de ses produits de visualisation, et en 2005 de ses produits de BRMS.

En janvier 2009, ILOG a été rachetée par IBM. ILOG est intégrée au sein d'IBM et ses produits portent maintenant la marque de société IBM, au sein du portefeuille d'applications Websphère.

CPLEX, moteur de programmation mathématique de référence⁸

L'optimisation transforme les problèmes métiers en modèles mathématiques qui, une fois résolus à l'aide des algorithmes sophistiqués d'IBM ILOG CPLEX, produisent des décisions logiques et précises.

La technologie d'optimisation mathématique d'IBM ILOG CPLEX permet de prendre les bonnes décisions qui conduiront à une utilisation efficace des ressources.

- Des algorithmes robustes pour résoudre des problèmes difficiles : IBM ILOG CPLEX peut résoudre des problèmes présentant des millions de contraintes et de variables.
- Des performances élevées : IBM ILOG CPLEX délivre la puissance nécessaire pour résoudre de très gros problèmes d'optimisation du monde réel, à la vitesse requise par les applications interactives

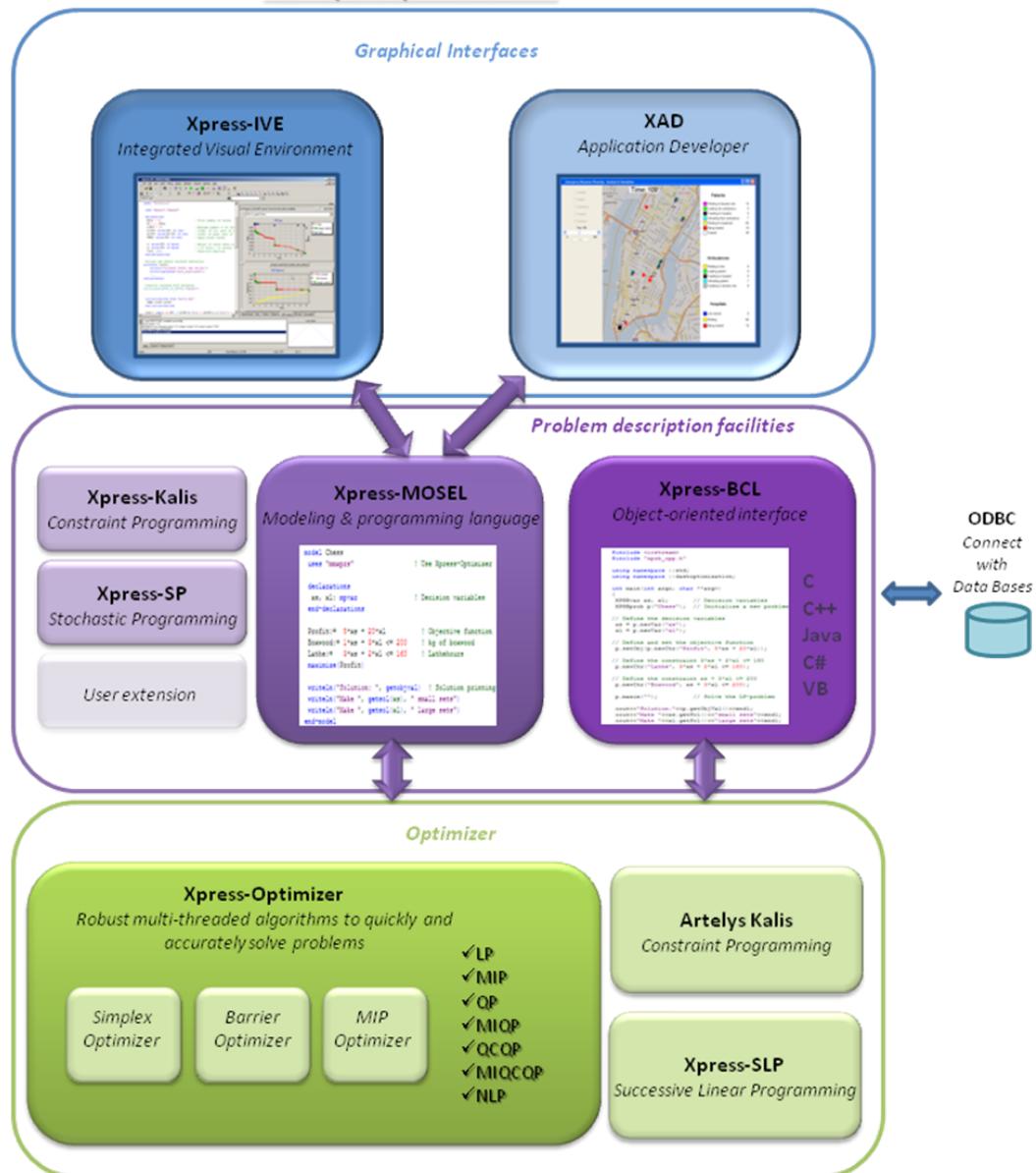
⁸Extrait de la page web correspondante du site d'IBM.

d'aujourd'hui.

- Des algorithmes fondamentaux : IBM ILOG CPLEX comporte des optimiseurs haute performance d'une grande souplesse, capables de traiter les problèmes de programmation linéaire, programmation quadratique, programmation quadratique sous contraintes et programmation en nombres entiers mixtes.
- Robustesse et fiabilité : Forts d'une vaste base installée, nous améliorons IBM ILOG CPLEX à chaque édition. Toutes les nouvelles fonctions sont testées sur la bibliothèque de modèles la plus grande et la plus diversifiée au monde.
- Des interfaces souples : les développeurs peuvent dialoguer avec IBM ILOG CPLEX de diverses manières pendant le développement et le déploiement de leurs applications.
- IBM ILOG CPLEX 12.0 intègre les tout derniers perfectionnements en matière de vitesse et de flexibilité - programmation en nombres entiers mixtes plus rapide, performances parallèles activées par défaut et nouveaux connecteurs pour les logiciels courants.
- Systèmes d'exploitation pris en charge : AIX, HP Unix, Linux, Macintosh, Sun Solaris, Windows.

FICO et ARTELYS

FICO™ Xpress Optimization Suite



L'offre de FICO, acteur mondial majeur en « Decision Management » depuis 1956, (plus de 5 000 clients dans 80 pays), s'articule autour des systèmes de règles (FICO™ Blaze Advisor®), systèmes de prévision (FICO™ Model Builder) et librairies d'optimisation (FICO™ Xpress Optimization Suite).

Artelys édite et commercialise des composants numériques d'optimisation, en particulier l'un des principaux solveurs de programmation par contraintes : Artelys Kalis qui, bénéficiant d'une architecture modulaire et d'algorithmes performants, est intégré dans de nombreuses solutions, notamment en ordonnancement et en planification de production.

Partenaire depuis sa création de Dash Optimization (éditeur de la suite Xpress-MP) et de FICO suite au rachat en 2008 de cette dernière, Artelys distribue et maintient les composants de la suite Xpress en Europe francophone. Ce partenariat a été renforcé en 2005 avec l'intégration du solveur de programmation par contraintes Artelys Kalis au sein de FICO™ Xpress Optimization Suite.

Au cœur de la résolution de nombreux problèmes métiers

Il s'agit d'une gamme complète d'outils de modélisation et d'optimisation numérique permettant de construire des solutions métiers apportant des éléments de décision à des problématiques complexes.

Par exemple, dans le domaine logistique, ces solutions sont utilisées pour l'établissement de schémas directeurs logistiques, mais aussi pour la planification du transport et l'établissement de plans de production optimisés. La planification de personnels (secteurs aérien, médical, transports en commun etc.) et l'optimisation dans le secteur de la distribution sont aussi des cibles privilégiées. Dans ce cadre, l'application métier FICO Retail Action Manager mérite d'être mentionnée.

Définir une stratégie d'investissement sur un réseau de télécommunications ou d'électricité, établir un plan de production électrique à moyen terme peuvent également être résolus avec ces outils.

Enfin, le secteur financier utilise également ces solutions, notamment pour de l'optimisation de portefeuille.

Une suite logicielle reconnue pour l'optimisation

L'efficacité numérique de ces logiciels est reconnue dans le monde entier. Les algorithmes de Xpress en programmation linéaire, programmation linéaire en

nombres entiers et programmation par contraintes sont à la fois fiables et d'une extrême rapidité. Grâce au modeleur Xpress-Mosel, il est possible de réaliser une application réelle en quelques jours : ce langage extrêmement synthétique, proche du langage mathématique, donne une capacité d'expression qui réduit considérablement le temps de développement.

Des bibliothèques C/C++, Java, C# et Visual Basic permettent l'utilisation de Xpress au sein d'applications complexes d'aide à la décision et d'optimisation. Entre autres, le composant Xpress-BCL permet de formuler rapidement le problème grâce à des objets *variable*, *contrainte*, *expression* linéaire ou quadratique. Le temps de développement s'en trouve ainsi extrêmement réduit et la maintenance facilitée.

Support, formation et conseil

Afin d'accompagner leurs clients, Artelys et FICO proposent un ensemble de services autour de leurs solutions :

1. une assistance téléphonique ou par courrier est proposée pour accompagner leurs clients dans l'utilisation de la solution.
2. des formations aux techniques d'optimisation utilisées dans la suite FICO™ Xpress et leur intégration au sein d'applications finales.
3. des prestations de conseil sont également proposées. Artelys et FICO accompagnent leurs clients dans la modélisation de leurs problèmes les plus complexes en analysant avec eux aussi bien les caractéristiques physiques ou économiques du système étudié que la nature et la précision des résultats attendus.

ORACLE

L'expertise optimisation chez Oracle est disséminée dans différentes équipes de développement produit appartenant à la division Applications d'Oracle. Oracle propose plusieurs produits contenant en leur cœur des méthodes et des algorithmes de Recherche Opérationnelle. Les technologies mises en œuvre dans les moteurs d'optimisation écrits pour ces produits vont de la génération de colonnes à la programmation par contraintes en passant par la programmation linéaire en nombres entiers et la recherche locale.

Les applications traitées concernent essentiellement le supply chain, la planification de personnel, l'optimisation de revenus. Nous listons ci-dessous les principaux produits.

Oracle Workforce Scheduling (OWS)

C'est un outil de la gamme Oracle des produits destinés à la gestion des ressources humaines. Oracle Workforce Scheduling (OWS) offre aux entreprises une solution complète pour calculer la charge prévisionnelle de travail et satisfaire la qualité de service du client et ses objectifs de coût. Il permet de trouver le bon compromis entre qualité de service, coût salarial, et préférences des employés, générant le meilleur planning possible tout en étant un outil facile à utiliser.

Le contrôle des heures de travail et par conséquent de leur coût est un des plus gros défis que doivent affronter les industries. OWS est un système qui réduit le sous-effectif et le sureffectif tout en respectant les règles contractuelles et celles issues des conventions collectives. Il prend en compte les compétences et les disponibilités des employés ainsi que tout l'aspect saisonnalité. OWS est prédominant dans le secteur de la grande distribution, mais la technologie sous-jacente peut être appliquée à d'autres industries.

Les algorithmes sophistiqués d'OWS permettent de générer rapidement et efficacement un planning quasi optimal. Ces algorithmes implémentent différentes techniques de modélisation mathématique et d'optimisation combinatoire pour obtenir une solution qui maximise l'adéquation entre employés et charge de travail à couvrir. La technique a été éprouvée depuis plusieurs années d'expérimentation dans des applications à l'échelle industrielle pour produire le meilleur compromis entre temps de résolution et qualité de planning.

→ **Réussite industrielle** : 'Carrefour Espagne' a installé OWS en 2009 pour

effectuer la planification annuelle et hebdomadaire de ses 140 magasins. Chaque magasin a entre 100 et 500 employés.

Oracle Inventory Optimization (OIO)

L'économie moderne caractérisée par une compétition acharnée, des cycles de vie de produits raccourcis, un accroissement des externalisations et une incertitude croissante de la demande, rendent difficile la gestion des stocks et la réponse à la question : *combien de stock à prévoir et où ?* Oracle fournit le produit Inventory Optimization en tant qu'élément de sa solution globale Advanced Planning (plate-forme de planification e-business). OIO considère la demande, l'approvisionnement, les contraintes et l'incertitude des chaînes d'approvisionnement pour optimiser les décisions d'investissement.

OIO tire profit des dernières innovations de l'optimisation stochastique et des techniques de mutualisation des risques pour obtenir la solution optimale qui réduit le volume de stock sans sacrifier la qualité de service. OIO résout le problème complexe du compromis entre le temps et le coût de mise à disposition des produits aux clients, sans avoir à dépenser un coût élevé pour stocker la marchandise proche du client. Il permet de gérer les stocks à tous les niveaux de la production en considérant toutes les usines, les centres de distribution, les entrepôts de stockage, les fournisseurs et les clients.

OIO prend en compte la variation de la demande qui est due à des facteurs saisonniers, des erreurs de prévision, des promotions ou des introductions de nouveaux produits. Il permet de gérer la variation de l'approvisionnement due aux retards des fournisseurs.

Oracle Strategic Network Optimization (OSNO)

OSNO est un outil de modélisation qui permet à une entreprise de créer un réseau détaillé représentant tout ce qui intervient entre les fournisseurs d'une part et les points de vente d'autre part. Sur ce réseau sont représentés les coûts et contraintes de stockage, d'acheminement, ainsi que les demandes d'approvisionnement (capacité maximale des entrepôts, approvisionnement minimal sur les points de vente...).

L'application OSNO modélise la chaîne d'approvisionnement d'une société, les ressources, les contraintes et les coûts qui peuvent être utilisés pour optimiser des plans d'approvisionnement long terme. Elle permet de simuler les effets de décisions stratégiques comme les acquisitions et les externalisations.

OSNO prend en compte tous les coûts complexes et les contraintes qui gèrent le réseau de la chaîne d'approvisionnement et permet de décider de sa meilleure configuration possible pour conduire le business. Il arrive à considérer les coût de transport, de stockage, de travail. Il peut simuler l'impact de scénarios différents de demande, d'intégration de nouveaux business et de nouveaux marchés cibles, ou évaluer des décisions d'externalisation. Il sait recommander les stratégies optimales d'approvisionnement et évaluer l'impact d'événements imprévus.

Oracle Retail's Regular Price Optimization (ORRPO)

L'environnement actuel de la grande distribution est très compétitif et complexe. Ses acteurs doivent maintenir leurs parts de marché tout en maximisant leurs profits. Le pricing est l'un des principaux facteurs de différenciation entre concurrents. Les politiques de prix ont un impact significatif sur le revenu, la profitabilité et sur la satisfaction du client. L'effort de déterminer les prix de dizaines de milliers de produits est phénoménal quand il s'agit de prendre en compte la demande sur chaque produit et l'impact d'un changement de prix sur les ventes et la marge. C'est la raison pour laquelle un outil automatisé est nécessaire.

ORRPO permet aux distributeurs de maximiser leur revenu et leur marge au moyen d'un aperçu optimal de la tarification journalière. Il apporte aux vendeurs la technique et les procédures pour optimiser le pricing journalier des marchandises afin de maximiser leur profits. Il a été constaté que l'application ORRPO augmentait la marge brute en moyenne entre 3 % et 5 %.

→ **Réussite industrielle** : ALDO Group, qui est un distributeur de chaussures et accessoires, a choisi ORRPO en 2007 pour mieux aligner son pricing avec les stratégies saisonnières et les demandes locales. Avant cette date, le processus manuel de pricing nécessitait l'analyse de gros volumes de données. La mise en production sur les 1000 magasins du groupe Aldo a duré une vingtaine de semaines. Le vice-président D'ALDO Group a déclaré : « nous avons considéré l'optimisation du pricing comme une étape importante dans la réalisation de nos objectifs de performance plus élevée. »

Pour aller plus loin

Le panorama qui vient d'être fait de l'utilisation des méthodes de recherche opérationnelle se concentre délibérément sur ce qui se fait en France.

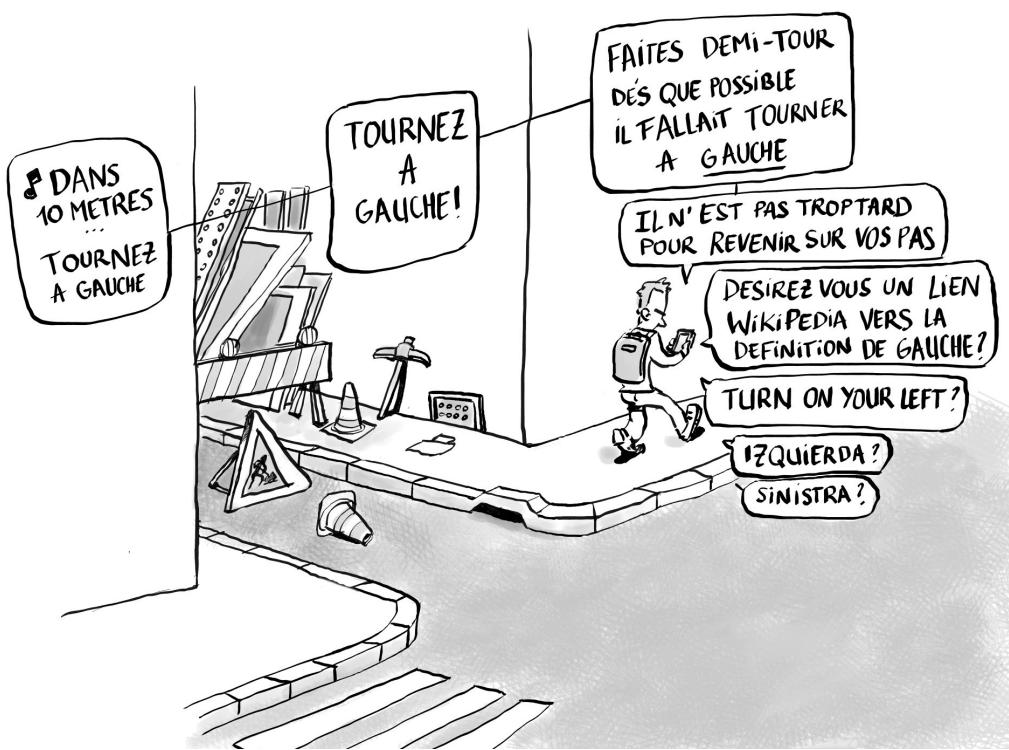
Pour une vue plus vaste, nous invitons le lecteur à consulter le site www.scienceofbetter.org proposé par INFORMS (Institute for Operations Research and Management Science). Ce site répertorie un grand nombre de *success stories* à travers le monde dans des dizaines de secteurs d'activité, sur de nombreux problèmes différents, avec des gains souvent significatifs.

Des prix remis annuellement par INFORMS comme par EURO (l'association des sociétés européennes de RO) viennent chaque année récompenser des applications pratiques de la recherche opérationnelle dans l'industrie et sont autant de preuves du gisement d'efficacité que ces méthodes apportent aux entreprises de nombreux pays.

Le lecteur intéressé par la mise en œuvre de ces outils dans son entreprise pourra faire appel aux sociétés de services ou aux laboratoires de recherche mentionnés dans cet ouvrage ou sur le site de la ROADEF. Il trouvera certainement aussi auprès des ingénieurs de son entreprise, des personnes formées à ces techniques.

De manière générale, la collaboration entre une personne connaissant bien les problématiques métiers d'une entreprise et un professionnel de la RO s'avère particulièrement fructueuse. La présence d'une personne formée à la RO dans l'entreprise permet souvent aussi de faire ressortir plus efficacement les problématiques les plus porteuses, de bâtir rapidement des modèles validés et de pérenniser l'utilisation des outils mis en œuvre.

Les travaux effectués pourront aller d'une petite étude aboutissant à une décision ponctuelle à la mise en œuvre d'applications métiers utilisées quotidiennement par des centaines de collaborateurs, et parfois même jusqu'à une amélioration des processus eux-mêmes, de façon constructive, outillée et quantitative.



ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE...

L'enseignement de la recherche opérationnelle a une longue histoire en France et aucune grande université de province ou d'Île-de-France n'a fait l'impasse sur ce domaine très appliqué des mathématiques.

Courant 2010, la ROADEF a procédé à une enquête nationale sur l'implantation de la discipline au sein des universités et laboratoires. Voici les résultats principaux.

La communauté dans son ensemble

Même si la communauté RO/AD francophone reste modeste en effectif vis-à-vis de certains de ses voisins européens, sa représentation dans les structures de recherche est loin d'être négligeable. Une enquête initiée par la ROADEF courant 2010 dénombre près d'une centaine de laboratoires ou équipes de recherche en relation avec cette discipline dont une dizaine hors Hexagone (Belgique, Suisse...). Ces équipes se répartissent en deux catégories : les académiques, universités, écoles d'ingénieur ou de commerce, unités de recherche institutionnelles (CNRS, INRIA...), au nombre de 75, et les équipes industrielles (sociétés de service, industries...), environ 25.

La population recensée compte 1 329 membres se répartissant en 696 EC/IR permanents, 160 non permanents et 473 doctorants, effectifs à comparer aux 400 membres inscrits à la ROADEF en 2010.

Des équipes de taille moyenne

Près des trois quarts des équipes recensées ont un effectif (chercheurs, enseignants-chercheurs (EC), ingénieurs R&D (IR)) en membres permanents ou temporaires inférieur à la dizaine.

Une formation active par la recherche

Le nombre de doctorants en recherche opérationnelle recensés lors de cette enquête est significatif, même si le ratio par enseignant chercheur (0,67) reste moyen au niveau national toutes disciplines confondues. Soixante équipes de type « académique » sur 78 et 7 équipes de statut « industriel » sur 23 déclarent encadrer des doctorants.

Trois classes de doctorants sont considérées dans cette synthèse :

- partenariats industriels (CIFRE, contrats...) [PI]
- financements académiques (ministère, CNRS, INRIA...) [BI]

- autres partenariats (CEA, INRETS, INRA, INSERM...) [PnI]

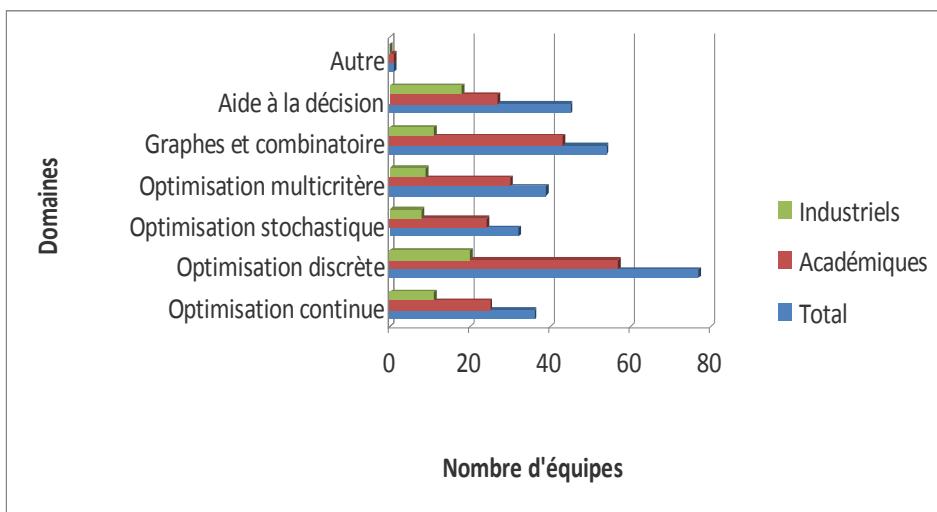
Les effectifs sont répartis de la manière suivante :

	Total	PI	BI	PnI
Effectif doctorants	478	176	217	85
Académique	443	146	217	80
Industriel	35	30	0	5

On constate un équilibre entre les doctorats financés par des bourses institutionnelles, de nature généralement académique, et les doctorats relevant de partenariats industriels ou institutionnels, ces derniers étant le plus souvent de nature appliquée. Par essence même, la recherche opérationnelle repose sur la théorie et la pratique. À titre indicatif car constituant un des « indicateurs de performance » des écoles doctorales de l'Hexagone, 395 thèses ont été soutenues dans la période 2006-2009 inclusive, dont 27 totalement financées par les industriels.

Une grande diversité de domaines de recherche explorés

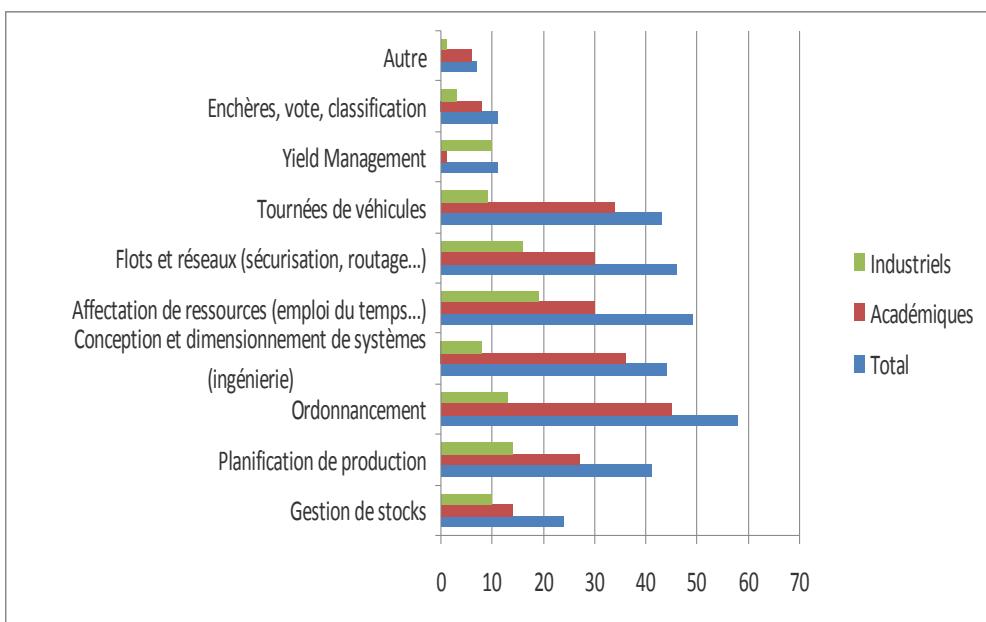
Si l'optimisation discrète (78 %) et la théorie des graphes (55 %) restent les domaines de prédilection des recherches, l'optimisation continue et



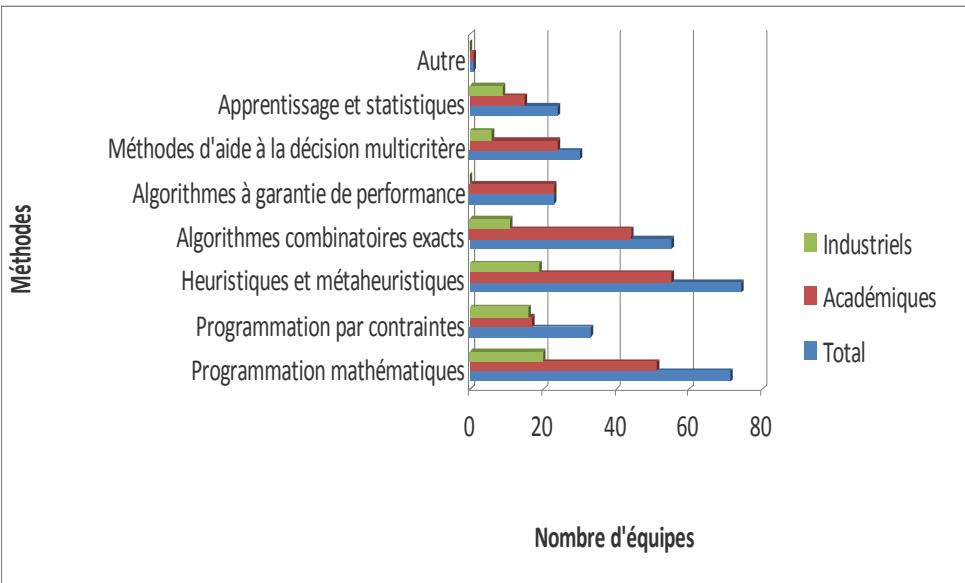
l'optimisation stochastique (spécialités des communautés « Programmation

Mathématique » ou « Optimisation Globale ») et l'optimisation multicritère sont bien représentées.

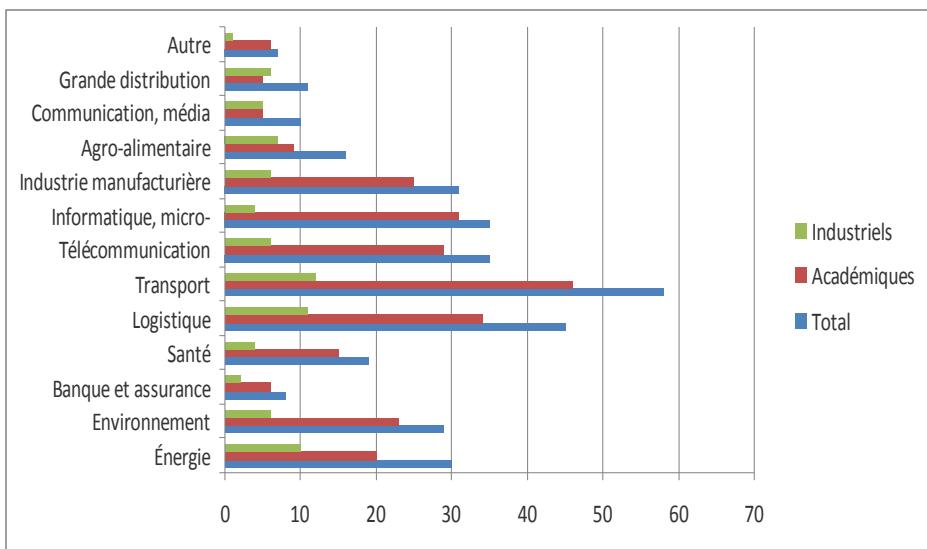
Les **applications** visées par les recherches menées au sein de ces équipes concernent majoritairement la logistique au sens large : gestion de production (planification, ordonnancement, gestion de stocks, affectation de ressources) et logistique du transport (tournées, dimensionnement de réseaux...). On notera la forte représentation de l'ordonnancement, phénomène similaire au niveau international.

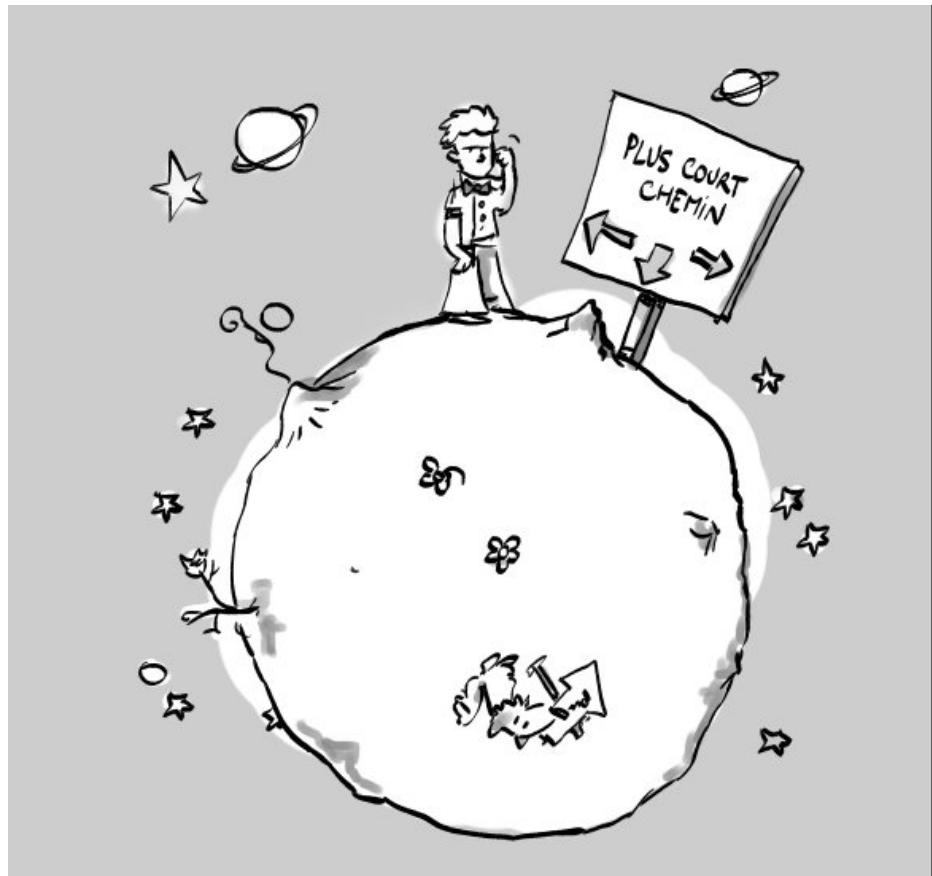


Pour les **méthodes** (figure page suivante), on ne constate pas de réelle discrimination entre les approches de résolutions, avec un quasi-équilibre entre heuristiques ou mét-heuristiques et méthodes exactes. Notons la forte présence des outils de programmation mathématique, attestant d'un essor du recours à des solveurs de programmation linéaire et PLNE cette dernière décennie.



Enfin, la répartition par **secteurs d'activités** des principales applications de la recherche opérationnelle met sans surprise en exergue un trio de tête constitué du transport, de l'informatique et des industries manufacturières.





SOCIÉTÉS CITÉES

AIR FRANCE	www.airfrance.com
ALMA	www.alma.fr
AMADEUS	www.amadeus.net
ARTELYS	www.artelys.com
BOUYGUES	e-lab.bouygues.com
COSYTEC	www.cosytec.fr
EDF	innovation.edf.com
EURODECISION	www.eurodecision.fr
GDF SUEZ	www.gdfsuez.com
GOOGLE	www.google.fr
ILOG	www.ibm.com/ilog
LA POSTE	www.laposte.fr
OPTILOGISTICS	www.optilogistic.fr
ORACLE	www.oracle.com
ORANGE LABS	www.orange.com
ORDECSYS	www.ordecsys.com
RENAULT	www.renault.com
SFR	www.sfr.fr
SNCF	www.sncf.com

La ROADEF

La ROADEF, Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, est une association de loi 1901 créée en 1998. Sa vocation est de promouvoir et favoriser l'essor de la recherche opérationnelle et de l'aide à la décision (RO/AD) en France, d'en diffuser la connaissance auprès des industriels et de favoriser son enseignement en formation initiale et en formation continue. La ROADEF est une **société savante** répertoriée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Elle compte aujourd'hui plus de 400 membres actifs dont une vingtaine de membres partenaires ou institutionnels. Son bureau est renouvelé tous les deux ans et comporte six membres auxquels s'ajoutent des chargés de missions.

Publications

Le **site web** (<http://www.roadef.org>) présente non seulement les statuts, les activités et les membres de l'association mais répertorie également de nombreuses informations sur la recherche opérationnelle et l'aide à la décision (articles dans les médias, histoire de la RO, liens internet...) Un forum de discussion permet de publier et de consulter des offres d'emploi, de thèse ou de stage ou des annonces de conférences, séminaires ou de sortie d'ouvrages ou encore d'aborder des discussions plus techniques.

Le **bulletin** est envoyé aux membres de l'association et contient à la fois des articles sur des thématiques industrielles et académiques et des comptes-rendus des activités faites dans le cadre de la ROADEF (groupes de travail, challenge, congrès annuel...) En plus du bulletin, une **lettre électronique** est envoyée tous les deux mois.

La ROADEF a aussi créé **la revue scientifique 4OR** avec les sociétés belge et italienne de recherche opérationnelle (quatre numéros par an) et participe avec la Société de Mathématiques Appliquées et Industrielles (SMAI) à la politique scientifique de la **revue RAIRO-RO**.

Le challenge

Le challenge, qui a lieu en moyenne tous les deux ans, est un moyen original de promouvoir la recherche opérationnelle auprès des industriels, des chercheurs et des étudiants. En effet, les sujets du challenge sont nécessairement déposés par des industriels ou des organismes, privés ou publics. Les derniers challenges ont ainsi été proposés par Renault, France Telecom, Amadeus et EDF.

Il y a d'autre part deux catégories de participants : étudiants et seniors. Cela permet aux premiers de s'initier à la résolution de problèmes complexes et aux seconds de confronter leurs savoir-faire, voire d'établir de nouveaux partenariats.

Le congrès annuel

Tous les ans, aux alentours de février, cet événement permet à la communauté de se rassembler pour échanger autour des problèmes étudiés par chacun ou encore pour préparer de nouveaux partenariats. Près de 300 exposés sont ainsi présentés. C'est également au cours du congrès qu'a lieu l'assemblée générale de l'association. Une fois tous les trois ans, le **prix Robert Faure** est remis à de jeunes chercheurs pour des travaux alliant une contribution théorique et des applications pratiques.

Chaque congrès a lieu dans une ville différente où se trouve une équipe de RO. Après Lille en 2006, Grenoble en 2007, Clermont-Ferrand en 2008, Nancy en 2009 et Toulouse en 2010, le congrès 2011 a lieu à Saint-Étienne.

Pour de nombreuses références bibliographiques, référez-vous à la rubrique Livres du site www.roadef.org.