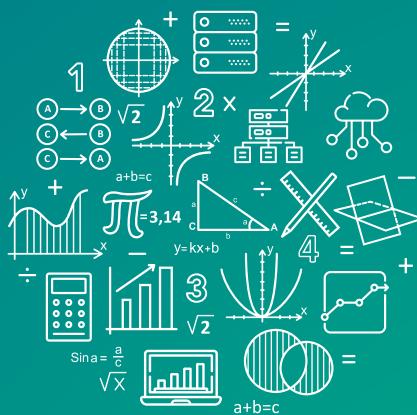


LE LIVRE BLANC DE LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE EN FRANCE



ROADÉF

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE
ET D'AIDE À LA DÉCISION

2019

La ROADEF (Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision) est une association de loi 1901. 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 délégué à la recherche et aux nouvelles technologies. Elle est membre d'EURO et d'IFORS.



Siège social : nouvelle adresse : IHP Institut Henri Poincaré,
11, rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris.
Site Internet : www.roadef.org
Date de la déclaration : 16 décembre 2009.

Caroline Prodhon
Trésorier de la ROADEF
Université de Technologie de Troyes
12 rue Marie Curie - CS 42060 10004 Troyes Cedex
Numéro SIRET : 4284 76709 00020



AVANT-PROPOS



Par Alain QUILLIOT

« LE LIVRE BLANC DE LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE : UN EXCELLENT OUTIL POUR ABORDER DES QUESTIONS ESSENTIELLES. »

Cette édition 2019 du Livre Blanc de la Recherche Opérationnelle, réalisée sous l'égide de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (la ROADEF), ne pouvait pas tomber à un meilleur moment. Moment où, après près de quinze ans de développement continu, la R.O comme nous aimons à la nommer familièrement, se trouve questionnée par les grands mouvements qui traversent tant les communautés académiques et industrielles que la Société tout entière.

Ces dix à quinze dernières années de développement continu, nos communautés les ont vécues au quotidien : elles se sont traduites par la dissémination de la Recherche Opérationnelle académique, jusque là cantonnée autour de quelques sites historiques (Paris-Dauphine, Grenoble...) sur l'ensemble du territoire national, par l'éclosion de formations de master ou d'ingénieurs faisant la part belle à la discipline et par la création d'un GDR dédié R.O au CNRS. Elle s'est aussi exprimée au travers de l'explosion du nombre des postes de chercheurs, d'enseignants-chercheurs et d'ingénieurs avec compétences R.O recrutés, non seulement dans les entreprises et dans les universités, mais aussi au CNRS, à l'INRIA ou dans certains organismes dédiés tels que IFSTTAR ou même l'INRA. S'il est certes difficile (et serait-ce seulement souhaitable ?) de parler d'un secteur socio-économique spécifique à la R.O et à l'Aide à la Décision, les outils, méthodes et compétences afférentes se sont imposés dans la plupart des grands groupes, sous forme de départements R&D ou à l'intérieur de certains services opérationnels (logistique, revenue management, ...). Ils ont infusé ce faisant les activités des éditeurs de logiciels et des sociétés de services et conseils aux fins d'applications de plus en plus diversifiées, qui vont des thèmes classiques du transport et de la planification de processus industriels



.....

jusqu'au management en temps réel d'enchères sur Internet et à la prise de décision sur marchés financiers.

Ce n'est pas le moindre mérite de ce Livre Blanc que de restituer ici le résultat d'un important travail de fond effectué par la ROADEF relativement à la présence des concepts de la R.O et des Outils de l'Aide Informatique à la Décision au sein des entreprises ainsi qu'à la nature des problèmes décisionnels que ces entreprises s'efforcent de traiter. La lecture de cet ouvrage confirme que la R.O déborde largement du cadre originel des applications traditionnelles de la programmation mathématique et des grands schémas heuristiques aux fins d'optimisation du fonctionnement de grands réseaux de télécommunication, de transport ou de production d'énergie, pour se positionner à la frontière des problématiques d'intelligence des données et en synergie avec les grandes évolutions technologiques (Internet, Applications Mobiles, Robotique...) en cours. C'est certainement une très bonne chose que parti ait été pris de centrer cette nouvelle édition du Livre Blanc de la R.O sur la discipline vue depuis l'Entreprise, car l'essence même de la Recherche Opérationnelle réside dans ce lien entre l'univers relativement abstrait de l'Informatique et des Mathématiques Appliquées et celui très concret du monde socio-économique.

C'est aussi une très bonne idée, après avoir situé à grands traits quelques unes des grandes tendances émergentes à l'intérieur desquelles les nouveaux travaux en R.O devraient s'efforcer de s'inscrire dans le futur (Robustesse, Optimisation On Line, optimisation au service des données, Yield Management...), que d'avoir confié la plume à Benoit ROTTEMBOURG, acteur dynamique de la R.O en Entreprise, afin d'évoquer la question polémique entre toutes de l'articulation entre R.O et I.A. Car si, après quinze ans d'expansion en continu, la R.O se trouve à présent interrogée, tant par les étudiants que par les tutelles politiques ou universitaires, c'est bien en partie parce que d'autres courants, portés parfois il est vrai par le talent d'un metteur en scène ou par l'effet boule-de-neige des médias, tendent à questionner la capacité de notre discipline à se renouveler. Et qu'importe au fond que les engouements afférents reposent en effet parfois de façon un peu excessive sur la magie de quelques mots clés ou sur certains effets de lobbying médiatique. Le fait est que notre environnement tant sociétal que technologique et économique change extrêmement vite, entraînant avec lui les modes de prises de décision, davantage réactifs, davantage démocratiques et collaboratifs, davantage portés sur des horizons stratégiques par essence incertains, mettant davantage en jeu des architectures de communication et supervision complexes.



.....

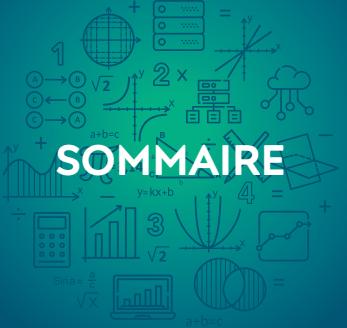
Les recherches et développements sur les outils mathématiques et informatiques de l'Aide à la Décision doivent s'efforcer de tenir compte de ces évolutions.

La Recherche Opérationnelle (le terme lui-même, bien difficile à expliquer aux étudiants et la ROADEF a certes été bien inspirée de lui adjoindre le terme Aide à la Décision, ne serait-il pas d'ailleurs à mettre à jour ?), a toujours revendiqué la réalité socio-économique comme une de ses sources d'inspiration, y compris au plan fondamental. Il s'agit d'une réalité dont ont gardé conscience tant la ROADEF, qui propose à présent des Tutoriels Industriels dans le cadre de son congrès annuel, que le GDR CNRS Recherche Opérationnelle, qui organise depuis plusieurs années des Journées Industrielles, en partenariat avec d'autres communautés scientifiques. Ce qui ressort de ces témoignages sur la façon dont évoluent les problématiques terrain, est notamment que la discipline ne peut plus être regardée comme un corpus disciplinaire relativement monolithique, structuré autour de quelques paradigmes dominants. Elle doit être au contraire de plus en plus abordée selon une optique pluri- voire inter-disciplinaire, dans le cadre d'interactions avec des problématiques de traitement intelligent des données (statistiques, apprentissage, datamining), de services Internet, de supervision à distance, de robotique (drones, véhicules autonomes...), de communication mobile et embarquée, et selon des paradigmes de design et évaluation de procédés logiciels intégrant la présence d'acteurs multiples susceptibles de communiquer et négocier de façon récurrente sur des horizons temporels parfois très contraints.

Ce Livre Blanc 2019 de la Recherche Opérationnelle tombe à pic parce qu'il pose à la fois ces questions et les bases d'un état des lieux approfondis, à une heure où nos tutelles publiques, et notamment le CNRS, attendent de nous une capacité à indiquer le chemin scientifique, c'est-à-dire à non seulement animer nos communautés, mais aussi à réaliser un travail de veille et de prospective à même d'aider à identifier enjeux et tendances et à spécifier le contenu des grands programmes à venir. C'est pour cela qu'il me paraît absolument essentiel de saluer le travail réalisé ici par les promoteurs de la ROADEF, l'Association Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, et tous ceux qui, académiques ou industriels, se sont impliqués dans la rédaction de ce précieux ouvrage.

Alain QUILLIOT

Directeur du GDR CNRS 3002,
Recherche Opérationnelle



SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE DANS LES ENTREPRISES	9
POINT DE VUE IA ET RO	11
PARTIE 1	16
PARTIE 2	40
POUR ALLER PLUS LOIN	87
LA RECHERCHE, L'ENSEIGNEMENT ET LES INSTITUTIONS	88
ZOOM SUR.... CASEINE	90
LA ROADEF	91
REMERCIEMENTS	95



INTRODUCTION

La Recherche Opérationnelle (RO) peut se définir comme la mise en œuvre de méthodes scientifiques, essentiellement mathématiques et algorithmique, en vue de prendre la meilleure décision possible. Etablir plus précisément quand entre en jeu la RO dans un processus de prise de décision est une tâche plus difficile. En effet, l'expert en RO 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 RO 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).

En France, 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 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...)

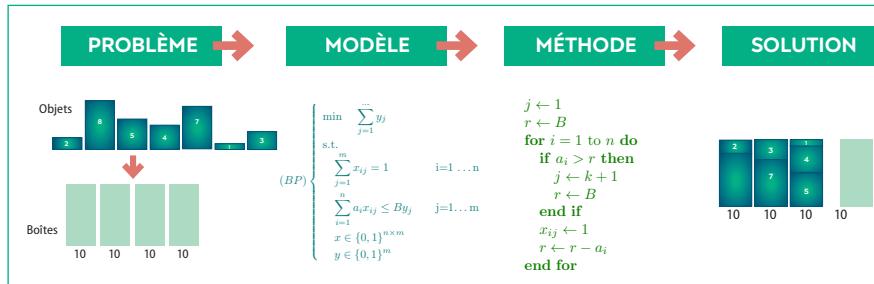


Figure 1 : Le bin-packing ou comment ranger des objets dans un nombre minimum de boîtes

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 et de manière exacte des instances de grande taille de ces problèmes, 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 RO des outils rapidement utilisables basés sur des algorithmes et implantations efficaces. Ces librairies 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).



Credit: Fives - Syleps

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. 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

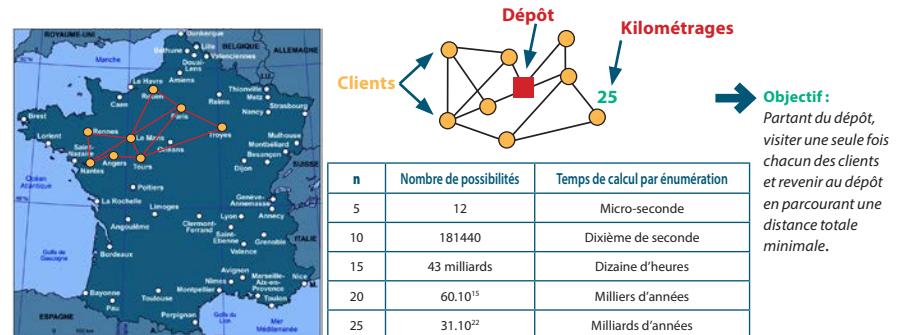


Figure 3 : Le voyageur du commerce doit visiter chaque ville tout en minimisant la distance totale parcourue

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 RO 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 RO qui ont une bonne connaissance des techniques de RO et des métiers du groupe

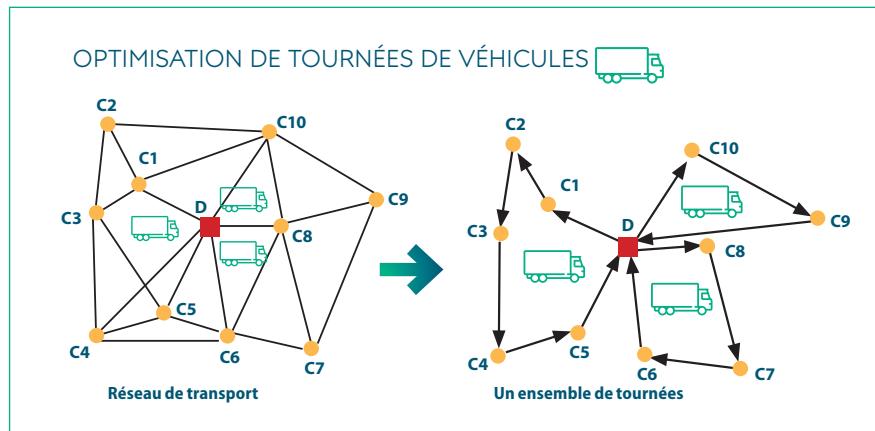


Figure 4 : L'optimisation des tournées ou comment couvrir un ensemble de commandes avec un nombre donné de camions et sous des contraintes horaires

ou que les sociétés de prestation en RO consacrent beaucoup de temps à spécifier les problèmes avec leurs clients.

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 mise en œuvre 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 RO 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 RO peut, encore plus qu'elle ne le fait actuellement, aider et améliorer les prises de décision dans notre société. En présentant comment la RO 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.

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 groupes ont des entités spécifiques, souvent rattachées à la R&D, destinées à traiter des problématiques de Recherche Opérationnelle internes et ainsi, de diminuer les coûts d'exploitation ou de production ou d'améliorer les performances des unités de production ou des services offerts aux clients. Très souvent, ces entités sont en contact étroit à la fois avec le monde académique pour suivre les dernières évolutions des techniques d'optimisation, avec des SSII spécialisées dans la RO et susceptibles de fournir des outils performants d'optimisation plus ou moins génériques, et avec les entités plus opérationnelles de l'entreprise qui sont confrontées en direct avec certaines problématiques. Les autres entreprises, en particulier celles de plus petite taille qui n'ont pas les moyens de maintenir de façon durable une expertise en RO interne font, soit appel à de telles SSII (ou à des laboratoires académiques) pour sous-traiter la résolution des problèmes de RO, soit achètent des logiciels « sur étagère » développés par des éditeurs informatiques.

Même si la Recherche Opérationnelle est très 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 recoupements, des frontières communes avec d'autres domaines, qui sont, dans certains cas, plus mis en avant par telle ou telle

entreprise. Dans ce cas-là, la RO 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, et la contribution originale de la RO peut alors être noyée dans un ensemble d'autres travaux concernant la même problématique. Une question récurrente et tout à fait essentielle dans le monde industriel concerne la gestion du compromis entre la qualité requise par la solution et le temps nécessaire pour obtenir cette solution. Un autre frein à la diffusion massive des méthodes de RO au sein des entreprises est la nécessité de les inclure dans un outil informatique qui puisse être facilement utilisable par les utilisateurs opérationnels.

Mais la situation est graduellement en train de changer. Dans de nombreuses entreprises, la RO commence à apparaître au grand jour, et ce, en partie sous l'impulsion du GdR RO. En effet, le GdR a largement encouragé une initiative qui s'est traduite par la formation d'un groupe informel de managers et de responsables d'entité RO (ou utilisant des techniques de RO) qui se réunit environ 2 fois par an pour partager leurs expériences et tenter de promouvoir la RO. La ROADEF (Société Française de RO et Aide à la Décision, www.roadef.org) contribue également beaucoup, depuis sa création en 1998, à rassembler la communauté RO nationale, et son congrès annuel est une des rares occasions permettant un rapprochement et des

échanges entre les chercheurs académiques et les praticiens industriels.

Actuellement, les techniques de Recherche Opérationnelle sont utilisées par les entreprises françaises (et internationales) 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 des 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 gestion du personnel, où il faut, par exemple, proposer des grilles horaires permettant de réaliser des tâches tout en respectant les lois du travail et les conventions établies avec le personnel.

Les évolutions récentes de l'écosystème socio-économique ont fait émerger de nouvelles thématiques ou bien remis sur le devant de la scène des domaines sur lesquelles la RO 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 RO « classiques »,

• **l'optimisation on-line et distribuée** qui doit permettre à des systèmes décentralisés de prendre des décisions rapidement (au fur et à mesure d'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 des données (**data mining**), et, inversement, l'intégration des sciences de données pour la calibration 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 adapté 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 multicritères**).

Il reste également de gros progrès à faire sur le transfert de l'expertise RO sur les thématiques 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/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 RO 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.



POINT DE VUE IA ET RO : QUAND LES SŒURS RIVALES DE LA DÉCISION SE RETROUVENT

Par Benoît Rottembourg

IL Y A TOUT JUSTE 30 ANS, en 1988, j'ai dû choisir l'option de 3^{ème} année de mon école d'ingénieur. J'hésitais entre Recherche Opérationnelle (RO) et Intelligence Artificielle (IA). J'avais été déçu, lors de mon stage, par une campagne de tests de « réseaux de neurones » à laquelle j'avais participé. Nous étions environ un millier de stagiaires et ingénieurs à avoir rédigé une centaine d'adresses chacun, sur autant d'enveloppes, pour nourrir le protocole de reconnaissance de caractères d'une machine triuse de courrier. En 1988 ce n'était pas terrible, terrible. Et je n'y ai pas cru.

Il y a 30 ans, fan de complexité algorithmique et de machines de Turing, j'ai choisi RO pour deux raisons :

- Le cadre mathématique algébriko-topologique me rassurait. Je croyais comprendre. Les modèles étaient élégants et compacts, quelque part entre la théorie des graphes et la programmation mathématique
- Et le catalogue de problèmes « quasi réels » que semblait pouvoir résoudre la RO me faisait saliver. J'allais pouvoir parcourir le monde et l'optimiser tout en m'amusant à résoudre des problèmes difficiles. J'avais 22 ans.

Aujourd'hui, 30 ans plus tard, je crois que je ferais un choix différent. Non pas que je regrette le choix qui m'a nourri et stimulé pendant 3 décennies, mais parce que la donne a changé. Et les jeunes « data scientists » que j'interviewe lors d'entretiens d'embauche me semblent prendre en compte cette nouvelle donne. Mais ce choix n'est plus aussi clivant qu'il l'était. Les disciplines se sont déjà rapprochées dans les cursus de Master et d'écoles d'ingénieurs et surtout elles cohabitent dans les équipes de Data Science de l'industrie.

Pourtant, en 30 ans, on ne peut pas dire que RO et IA aient intensément collaboré. Il y a eu toutefois quelques frottements mémorables : pensons par exemple aux algorithmes génétiques, bio-inspirés, qui sont venus optimiser sur les plates-bandes de l'optimisation combinatoire et même du sacré Voyageur de Commerce. La programmation par contraintes est venue également se frotter à la Recherche Opérationnelle dans les années 90. Même si son territoire industriel est aujourd'hui limité, les esprits opérationnels se sont beaucoup échauffés à son sujet, certains laboratoires de RO allant jusqu'à en bannir l'emploi dans leurs murs. Pensée magique contre prophétie. Fort heureusement pour l'ingénierie de l'optimisation, des mutations et croisements sont apparus au fil des années, animés par des conférences comme CPAIOR réunissant les chercheurs des différentes disciplines.

POINT DE VUE IA ET RO : QUAND LES SŒURS RIVALES DE LA DÉCISION SE RETROUVENT

Mais la nouvelle vague qui pousse l'IA sur le devant de la scène, jusque sur les bancs de l'assemblée nationale, bouscule les repères, jusqu'à faire bouger les lignes, au moins dans l'industrie et auprès du grand public, avec des sujets de café du commerce comme « combien d'années avant qu'une IA ne vienne piquer mon boulot ? » Comme le dit souvent Cédric Villani, la bonne nouvelle c'est que l'apport des mathématiques à la société n'a jamais été aussi visible et débattu, et on ne se demande plus à quoi ça sert. Aussi voudrions-nous nous interroger ici sur le possible et souhaitable rapprochement entre les deux disciplines, que cette nouvelle ère entraîne.

Un alignement des astres qui place l'IA et les sciences de la donnée sous les feux de la rampe depuis 2015

Un ensemble de phénomènes économiques et d'innovations a sans doute concouru à l'émergence de l'IA dans le discours industriel et médiatique.

- La profusion des données et des modèles économiques directement liés à la prédiction du comportement client, chez les GAFAM, les BATX et autres NATU, qui ont donné un coup de fouet à la R&D en la matière. La fameuse économie de l'attention. Chacun de ces acteurs touchant plusieurs centaines de millions d'utilisateurs, parfois quotidiennement
- La double opportunité des technologies du Big Data et du Cloud, qui permettent un déport du stockage et des calculs, ainsi que des enchaînements algorithmiques d'une intensité significativement supérieure. Des bases de données massivement supervisées (comme les *like* sur une photo) fournissant des milliards d'échantillons d'apprentissage
- Bien entendu, la ténacité des chercheurs en IA qui ont su adapter leurs méthodes au potentiel algorithmique et à la data disponible, stimulés par l'appétit industriel croissant. La diffusion des algorithmes de base en open source (en R, en Python), et des tutoriels attenants, a servi d'accélérateur à l'adoption qui en devient massive
- La prophétie de quelques éditeurs de logiciels qui ont établi un parallèle entre les prouesses du Deep Learning et du Reinforcement Learning, sur la reconnaissance, la perception, la prédiction et les jeux, et leur application à une palette de problématiques industrielles
- Enfin, un habillage marketing d'applications classiques de prévision ou de planification sous le vocable Intelligence Artificielle ou Machine Learning se chargeant de diffuser la bonne parole auprès des fonds d'investissement et des grandes entreprises.

Pour autant, si le Reinforcement Learning fait de toute évidence des miracles – avec les moyens de calcul que l'on sait – sur des problèmes de décision séquentiels assez proches des processus de décision markoviens, force est de constater que les problèmes classiques de la RO sont encore épargnés. Si le Machine Learning est utilisé en planification de production, c'est bien plus dans les aspects prévision que sur les aspects décision sous contraintes. Il faut appeler un flot un flot et la structure de flot se spécifie plus qu'elle ne se découvre par apprentissage ... à ce jour.

Ainsi, si une entreprise souhaite développer ou déployer une application de planification de ressources humaines, de capacity planning, de lot-sizing, de network design, de routage, de scheduling,

d'optimisation de portefeuille, d'optimisation de gamme, de facility location, de plan de transport, de multi-commodity flow, de revenue management, de pricing dynamique, elle le fera en partie à l'aide d'algorithmes de RO. Mais il est probable que la Direction Générale entendra parler d'« optimisation par Intelligence Artificielle » surtout si c'est une start-up qui déploie le logiciel.

Des éditeurs de logiciels et des grandes entreprises qui s'équipent de centres de « Data Science et d'Intelligence Artificielle »

Toutefois, l'association Data Science/Digitalisation, où implicitement la maîtrise des sciences de la donnée sert de levier à la transformation des entreprises est un paradigme différent de celui tenu par les statistiques ou la RO depuis les années 70. Il est plus ambitieux par nature, plus enthousiasmant pour les dirigeants et les investisseurs, et génère des budgets ainsi qu'une attente significativement plus forts, à la limite du fantasme parfois.

Pour citer Eric Duckworth auteur du délicieux petit livre « A guide to operational research », publié en 1962, la RO se doit de garder une posture humble : «This is not the object of OR to usurp the decision making function of a manager, it is to give it a greater scientific precision, a cutting edge.» A l'image d'un statisticien qui quand il rencontre un patron de business unit qui a besoin d'une prévision, finit toujours par demander « Avez-vous 5 ans d'historique pour que je puisse repérer la saisonnalité », le chercheur opérationnel a développé une capacité unique à optimiser ou planifier les ressources le long d'un processus donné. Pour ce faire, l'homme de la RO questionne, observe le théâtre des « opérations », identifie les contraintes structurantes, modélise la fonction objectif le plus finement possible et détecte les variables de décision qu'il « peuplera » par calcul. Mais bien souvent, le périmètre est borné par le processus existant, les KPIs, qui mesureront la performance de l'outil, sont isolés dans un silo donné de l'entreprise, et l'optimisation œuvre dans ce cadre.

Fantasmé ou pas, le sentiment du rôle que peut jouer la Data Science (DS), et tout particulièrement l'IA, génère la création d'une quantité de nouvelles équipes de Data Scientists, dans les banques de détail, la finance, les assurances, les grands groupes industriels, les producteurs d'énergie, la santé, la pharma et bien sûr chez les logisticiens. On peut s'en attrister, mais on ne crée plus d'équipes de RO aujourd'hui, et même les équipes de RO existantes ont dû mettre du machine learning dans leur mip. Conséquemment, les équipes de Data Science ne sont plus localisées au sein de la DSi, ou même en R&D, mais dans des branches « Digitales » souvent protégées par des budgets spécifiques et des processus d'engagement avec le métier (gouvernance) très différents de celui de la RO que nous avons connu dans les années 1980 ou 1990.

Concrètement, le Benoit de 22 ans aujourd'hui aurait beaucoup plus de chances de trouver un emploi dans une équipe de Data Science que dans une équipe de RO « stricto sensu ». Quelles implications pour les deux disciplines IA et RO, forcées à collaborer ?

Vers une cohabitation RO et IA fructueuse à plus d'un titre

Au sein de ces nouvelles équipes de DS ou d'IA, on trouve désormais un mix de compétences, regroupant typiquement « Data Engineering », « Software Development », « Statistiques », « Machine Learning/Deep Learning/Reinforcement Learning » et « Optimisation/Recherche Opérationnelle ». Les apports de ce regroupement sont multiples.

1. Tout naturellement, la panoplie de problèmes à traiter s'élargit. A la fois parce que l'accent est très vite mis sur les sujets clients, très visibles par les directions générales, sujets qui avaient tendance à être moins abordés par la RO. Toute la thématique autour du « parcours client » en particulier, vient injecter de nouvelles sources de données (comme les données web, ou les données issues des centres d'appel, et toute trace du comportement client dans son usage des produits de l'entreprise), qu'elles soient structurées ou pas. Mais également, pour les industriels, les données issues des capteurs (outil de production, moyens de transport, conditions environnementales) viennent enrichir le pool de données, alors qu'elles étaient traditionnellement consommées par l'informatique industrielle. Pour prendre un cas concret, nous disposons depuis peu chez Maersk des données de température, d'humidité et de concentration en gaz de tous nos containers réfrigérés – nous en avons plusieurs centaines de milliers -, qui transportent par exemple les bananes de nos clients, tout le long du trajet qui va de l'Equateur au Danemark. Cette connaissance « quasi temps réel » du bulletin de santé de la banane, pose à la fois des questions de monitoring, de prédiction puis d'aide à la décision quand il s'agit de proposer des alternatives pertinentes pour les clients lorsque des problèmes sont détectés

2. La continuité entre prévision et optimisation a une valeur ajoutée considérable en terme stochastique. Combien de fois avons-nous traité, nous chercheurs opérationnels, des problèmes d'optimisation stochastique en faisant des approximations déterministes. Pensons aux problèmes de planification d'emploi du temps où la courbe de charge est très souvent calculée à l'extérieur du cadre de l'optimisation. Désormais, quand les prévisionnistes et les optimisateurs sont assis dans le même open space, quand le client « métier » pose une question plus globale, cette approximation déterministe n'est plus possible, il faut faire avec l'incertitude, la modéliser et robustifier la réponse algorithmique. Le score de la prévision ne peut plus se contenter impunément d'être le bon vieux RMSE des familles : nul ne peut ignorer la décision

3. Plus profondément, l'accès à une donnée plus élémentaire, et à des capacités de prédiction/optimisation plus fréquentes, motive la transformation des processus vers plus de fonctions réactives. Par exemple, quelques heures avant d'arriver au port, un bateau doit donner la liste de ses containers et fournir pour chacun les lieux de destination afin de faciliter les opérations de transbordement au port. Connaître l'état d'une cargaison et permettre au client de changer de destination au dernier moment sont des nouvelles familles de décisions et des nouveaux services qui pourraient être offerts, pour peu que l'ensemble de la chaîne logistique aval puisse y répondre. Et ceci pose des questions de conception de réseau, et de routage d'une dimension nouvelle, avec on peut l'imaginer des fonctions objectif très différentes des multi-commodity flows usuels. De telles questions se posent tout autant

dans les usines, dans les pneus d'un camion, sur les routes, en offshore, en agriculture, en wearable device où le capteur est un maillon de la chaîne de la décision, qui informe et stimule de nouvelles problématiques. Mathématiquement, on peut parler de systèmes dynamiques à contrôler, semi observables sans doute, et où la structure d'état est bien trop large pour être optimisée à plat. Si la micro-prévision est « facile », tant elle fournit souvent un cadre idéal au machine learning, des challenges monstrueux s'ouvrent pour maîtriser la macro-décision qu'elle entraîne, soumise à un jeu de contraintes industrielles riches, macro-décision qui sera génératrice (ou pas) de retour sur investissement pour l'entreprise.

J'ai pris le parti, à l'échelle de 30 ans de passion, de me réjouir de cette nouvelle visibilité pour nos disciplines et de ces nouvelles formes de structures d'aide à la décision ouvertes sur une industrie en mutation. Si vu du « client » de l'application de prévision/optimisation, la data science, l'IA et l'optimisation ne font qu'une, rassemblées sous un vocable commun, il n'en est pas de même pour les expertises, et les tropismes, qui diffèrent beaucoup d'une compétence à l'autre.

Pour ne pas décevoir, pour ne pas que toute cette vague ne devienne bulle, les deux disciplines vont devoir sortir de leur zone de pertinence historique. Il y a des glissements sémantiques qu'il va falloir recoller.

Trois questions, parmi beaucoup d'autres, qui ne pourront être ignorées trop longtemps :

- Comment peut-on prétendre transformer le business modèle d'une entreprise par la data science alors que les données historiques sur lesquelles se basent les algorithmes sont biaisées par les processus du passé ?
- Comment peut-on étendre la performance de l'IA au Go ou aux Atari games, où les règles du jeu sont simples, formelles, et en vase clos, à des processus industriels fortement contraints et ouverts sur le monde, sur un monde qui change ?
- Et comment faire manger des bananes marrons à mon fils ?

Benoît Rottembourg

Head of Customer and Pricing Data Science - Maersk

Ingénieur en informatique de l'ENSIIE

et docteur en mathématiques appliquées
de l'Université Paris 6 (UPMC).

PARTIE 1

COMMENT LES ENTREPRISES S'ORGANISENT

AIR FRANCE-KLM	17
AIR LIQUIDE	18
AMADEUS	19
ARTELYS	20
CITODI	21
DGA	22
EDF	23
EURODECISION	24
GOOGLE	25
GUROBI	26
HUAWEI	27
IBM	28
LOCALSOLVER	29
MAPOTEMPO	30
OPRED	31
ORANGE	32
RECOMMERCE	33
RENAULT	34
SCHNEIDER	35
SNCF	36
SOPRA STERIA	37
TOTAL	38
VEKIA	39

AIRFRANCE KLM
GROUP

AIR FRANCE - KLM
Acteur majeur du transport aérien

Air France-KLM est un acteur majeur du transport aérien mondial. La diversité, la complexité et la combinatoire de ses problématiques stratégiques et opérationnelles en font une compagnie avide de Recherche Opérationnelle et d'Intelligence Artificielle.

PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPE RO

Le département de Recherche Opérationnelle Air France-KLM est une entité de 150 personnes répartie sur deux sites, Paris et Amsterdam, dont le cœur de métier est d'utiliser la Recherche Opérationnelle et l'Intelligence Artificielle afin d'optimiser les processus stratégiques et opérationnels de la compagnie. C'est un département jeune – avec une moyenne d'âge inférieure à 30 ans – orienté résultat, proche des métiers, innovant. Sa contribution au résultat de la compagnie est évaluée à environ 200 millions d'euros par an.

L'équipe traite de problématiques pour l'ensemble des métiers de la compagnie : finance, revenue management, programme de vol, digital client, maintenance, cargo, opérations sol, opérations aériennes... Pour chacun de ces métiers, l'activité se décline en trois parties. La première est la conception et le développement de solutions informatiques embarquant des moteurs de Recherche Opérationnelle ou d'Intelligence Artificielle, souvent d'abord sous forme de prototype, puis d'outil utilisé en production : l'application de revenue management d'Air France KLM en est l'un des exemples les plus emblématiques.

La deuxième est une activité de conseil, afin de donner aux décisionnaires de la compagnie – y compris le comité exécutif – des éléments objectifs leur permettant de prendre leurs décisions : une étude en cours vise à déterminer comment revoir les plannings des vols pour absorber la croissance à venir sur le marché de l'aérien compte tenu des limitations de nos infrastructures aéroportuaires. La troisième est une activité de veille et d'innovation, afin de détecter les opportunités de gain pour notre compagnie : la chaire de Recherche Opérationnelle et apprentissage avec l'école des ponts et chaussées en est aujourd'hui l'exemple phare.



Air Frnce KLM
est un groupe de
95000 personnes



25 milliards €
de chiffre d'affaires

LEADER MONDIAL DES GAZ INDUSTRIELS
ET MÉDICAUX / Production et distribution de gaz
industriels et médicaux

Air Liquide est le leader mondial des gaz, technologies et services pour l'industrie et la santé. Présent dans 80 pays avec environ 65 000 collaborateurs, le Groupe sert plus de 3 millions de clients et de patients. Oxygène, azote et hydrogène sont des petites molécules essentielles à la vie, la matière et l'énergie. Elles incarnent le territoire scientifique d'Air Liquide et sont au cœur du métier du Groupe depuis sa création en 1902.

RECHERCHE OPÉRATIONNELLE & SCIENCES DE DONNÉES @ AIR LIQUIDE

Au fil des ans, les activités d'Air Liquide en Recherche Opérationnelle se sont élargies du contrôle des procédés avancés à l'optimisation et la science de données. La Recherche Opérationnelle permet en priorité de soutenir l'excellence opérationnelle (portée par l'efficacité et la fiabilité) des chaînes logistiques depuis la production jusqu'à la distribution de nos gaz industriels et médicaux. Plus récemment, pour soutenir désormais la croissance de l'entreprise (y compris les ventes, le marketing et la santé à domicile) et tirer parti des flux de données massifs, la nécessité de diversifier l'expertise continue en mettant l'accent sur les statistiques et la science des données.

Le Pôle Recherche Opérationnelle et Sciences de données est basé au sein de l'écosystème de Paris Saclay et tire parti des collaborations académiques et industrielles de cet environnement avec des grandes écoles et universités, des grands groupes et des start-ups. De plus, nous travaillons dans un environnement international en étroite collaboration avec notre réseau de groupes de recherche jumeaux situés à Paris, dans le Delaware et à Shanghai. L'activité RO&SD étant au sein de la R&D, notre rôle

est de prototyper, évaluer, tester les performances et mettre à disposition du groupe Air Liquide les algorithmes les plus avancés pour nos systèmes d'aide à la décision au profit de nos clients et patients. Nous nous appuyons ainsi sur les modeleurs, solveurs et librairies open sources ou commerciaux les plus pointus en suivant les développements les plus récents. Une fois les preuves de concept validées, la R&D assure le transfert et le suivi au sein d'utilisations opérationnelles. Les membres du Pôle RO&SD proviennent d'une variété de formations (Master, PhD) incluant les mathématiques appliquées, les statistiques, l'informatique ainsi que le génie industriel.



1^{ER} FOURNISSEUR MONDIAL DE SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES POUR L'INDUSTRIE DU VOYAGE / Informatique / Industrie du voyage

Grâce à son réseau mondial, amadeus relie les fournisseurs de voyages et agences de voyages via une plate-forme de traitement hautement performante, pour distribuer des produits et services liés au voyage. Nous mettons également à disposition une gamme étendue de solutions technologiques qui automatisent certains processus métier essentiels, tels que la réservation et la gestion des inventaires ou encore la gestion des opérations des aéroports et des compagnies aériennes.

RECHERCHE ET INNOVATION À AMADEUS

Amadeus est l'un des plus grands acteurs mondiaux de l'industrie du voyage. L'entreprise a investi plus de 4 milliards d'euros dans la recherche et le développement de 2004 à 2016 et est ainsi devenu le troisième plus gros acteur et investisseur européen dans le secteur de l'informatique. Plus de 5000 ingénieurs sont engagés dans la branche recherche et développement d'Amadeus. L'entreprise a fait le choix stratégique en 2006 de créer une division dédiée à la recherche et l'innovation, spécialisée dans l'informatique de pointe, la Recherche Opérationnelle et la data science. Cette nouvelle structure permet à la fois de soutenir l'amélioration continue des solutions existantes, l'exploration de nouvelles pistes et le développement de nouveaux prototypes qui seraient la base de nouvelles applications, vecteurs de nouvelles sources de revenu. La promotion de la recherche et de l'innovation fait aussi partie des attributions de cette équipe.

La division recherche et innovation d'Amadeus est constituée de 3 groupes principaux. Le premier groupe est en charge de la recherche en Intelligence

Artificielle et Recherche Opérationnelle. Quels tarifs et conditions appliquer aux billets d'avion ? Quel type d'avion doit opérer sur telle route ? A quelle porte les passagers doivent-ils embarquer ? Ce sont les questions auxquelles nos solutions informatiques apportent des réponses optimisées pour nos clients (compagnies aériennes, aéroports...) et satisfaisantes pour les usagers. Ces recherches viennent alimenter différents prototypes et solutions.



4,4 Milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2016



14 200 employés de 123 nationalités à travers le monde dont plus de 5 000 personnes travaillent dans le domaine de la R&D. Le groupe de Recherche Opérationnelle comporte 14 personnes.

Spécialisée en aide à la décision, modélisation et optimisation numérique de systèmes complexes, Artelys place la Recherche Opérationnelle au cœur de son activité d'édition logicielle, d'études et de conseil.

La Recherche Opérationnelle occupe un rôle clé pour maintenir la compétitivité industrielle dans un contexte concurrentiel exacerbé par la mondialisation et réussir la transition énergétique qui s'avère, plus que jamais, incontournable. C'est fort de ce constat qu'a été créé Artelys, en 2000, dans le but de fournir à ses clients des solutions en optimisation qui se déclinent sous la forme de composants numériques, de logiciels opérationnels, de conseils stratégiques ou d'études technico-économiques. En effet, gérer un portefeuille d'actifs de production, en contrôler le risque, dimensionner des stocks, optimiser les capacités d'un réseau, définir des politiques tarifaires ou d'investissements sont autant de questions complexes qui nous sont adressées régulièrement.

Artelys est composé d'ingénieurs et/ou de docteurs en optimisation numérique, statistiques et informatique. Les travaux de R&D menés par l'entreprise s'appuient sur des composants numériques de pointe (Artelys Knitro, FICO Xpress, Artelys Kalis), la plate-forme applicative Artelys Crystal (dédiée à l'optimisation des systèmes énergétiques et la planification de ressources) et son expertise métier pour proposer à ses clients des solutions opérantes et innovantes.

L'hétérogénéité des techniques et technologies mises en œuvre est à la mesure de la diversité des problématiques qui nous sont adressées. Chacun des choix techniques réalisés est orienté par le souci permanent de répondre, au plus juste, aux besoins des clients. Ainsi, un consultant Artelys peut être amené à développer un modèle d'optimisation non linéaire pour dimensionner un réseau d'électricité, utiliser la PPC pour résoudre un problème de Job Shop, implémenter un modèle PLNE pour optimiser un parc d'actifs énergétiques ou mettre en œuvre les préceptes de l'optimisation stochastique et de la programmation dynamique pour gérer un stock hydraulique.



70 collaborateurs



6 M€
de chiffre
d'affaires
en 2016



35%
du temps consacré
à la R&D

Citodi fournit une solution d'optimisation de tournées en temps réel

La technologie développée par Citodi est un système d'Intelligence Artificielle capable de décider en temps réel de la meilleure affectation de courses à réaliser (et qui arrivent en continu) à des coursiers (géolocalisés en temps réel). Le problème mathématique sous-jacent est l'un des plus difficiles de l'optimisation combinatoire online et on le trouve dans la littérature sous l'appellation de Dial-a-Ride Pickup and Delivery Capacitated Vehicle Routing Problem (DaRPDCVRP).

L'enjeu majeur de l'optimisation en temps réel est la disponibilité de l'outil pour les chauffeurs. En effet, sur le terrain, les recommandations optimales doivent être fournies à tout moment de façon presque instantanée pour qu'elles puissent aider concrètement l'opérationnel. On parle ici

de chauffeur « augmenté ». Les méthodes d'optimisation employées nécessitent non pas une recherche de l'optimal théorique mais plutôt la recherche de solutions qui soient les meilleures possibles en temps très limité. De plus, la notion de robustesse intervient car les événements se produisant sur le terrain peuvent venir remettre en cause la meilleure solution courante.

Les solutions CITODI permettent aux chauffeurs, sur le terrain, de réoptimiser leurs tournées en continu, en tenant compte de la totalité des événements qui peuvent se produire et rendre les tournées optimisées la veille caduques : accidents, bouchons, clients absents ou qui annulent, véhicule en panne, retards, avances, etc.



CATOD - CENTRE D'ANALYSE
TECHNICO-OPÉRATIONNELLE DE DÉFENSE
Défense

OPTIMISER LES CAPACITÉS MILITAIRES FUTURES

Le centre d'analyse technico-opérationnelle de défense (CATOD) est chargé d'apporter aux armées une aide à la décision en matière de prospective et lors de la préparation, de la conception et de l'emploi des systèmes d'armes et de forces, le plus souvent sous forme d'études à caractère opérationnel, ou technico-opérationnel.

Les origines du CATOD remontent aux années 1960. Le centre a depuis agrégé des compétences dans le domaine de la simulation et de l'ingénierie système.

Au sein du CATOD, la Recherche Opérationnelle est mise en œuvre par le département analyses transverses, chargé également des études générales spécifiques ou à caractère capacitaire. Le département est constitué de quatre ingénieurs et recrute régulièrement.

L'aide au dimensionnement des futures capacités et l'aide à la comparaison de différentes architectures de forces font partie des études usuelles du département. D'autres études peuvent également être conduites au profit des armées comme la planification : activités d'un parc de véhicules ; rotations des unités du dispositif Sentinel ; etc.



OSER LE FUTUR & INNOVER AU PRÉSENT
Production, Fourniture et Commerce D'électricité

ÉLECTRICIEN PERFORMANT ET RESPONSABLE, CHAMPION DE LA CROISSANCE BAS CARBONE.

Que ce soit dans les choix d'investissement, la gestion du parc (placement des arrêts de tranches nucléaires, pose de protections biologiques...), l'élaboration des plans de production (journaliers et infra-journaliers), la planification des Ressources Humaines, l'amélioration des performances logistiques..., les problèmes d'optimisation sont de plus en plus complexes et déterminants dans tous les métiers du Groupe EDF.

Prenons le cas emblématique de la transition énergétique : favoriser l'insertion des énergies renouvelables tout en garantissant l'équilibre du système constitue un enjeu crucial pour EDF et la société. Or, les outils actuels ne permettent pas d'y répondre complètement. Il s'agit donc de construire un nouveau référentiel méthodologique d'optimisation où coexistent le système centralisé historique et des systèmes décentralisés. En effet, afin de respecter les objectifs Européens en termes de pénétration des ENR, il faut être capable de tirer parti de l'ensemble des moyens de flexibilité de l'amont (i.e. lié à la production) ou de l'aval (i.e. lié à la demande). Ce système vertueux nous permettra de continuer à garantir une énergie bas-carbone.

Pour être à même de répondre à tous ces enjeux vitaux, 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'études), dans un département qui compte au total 125 personnes environ.



EDF-R&D c'est plus
de **2000 chercheurs**
dont une soixantaine
dédiés à la Recherche
Opérationnelle

EURODECISION

PME SPÉCIALISÉE DANS LES
MATHÉMATIQUES DÉCISIONNELLES
Services et Conseil / Edition de logiciels / Etudes

Utiliser les mathématiques pour optimiser, aider à décider et mieux maîtriser des situations complexes.

EURODECISION est spécialisée dans la réalisation de solutions d'aide à la décision à base de mathématiques appliquées et d'algorithmes (optimisation, Intelligence Artificielle, data science, Recherche Opérationnelle). Son approche consiste à écouter et comprendre les interlocuteurs métier, analyser et exploiter les données, pour aider à prendre les meilleures décisions. Pour ce faire, EURODECISION propose des solutions métier qui reposent sur son expertise en développement d'algorithmes mathématiques, en Business Analytics, ou encore en Machine Learning, mais aussi sur une gamme de produits éprouvés lors de nombreuses réalisations. Depuis sa création en 1987, EURODECISION a réalisé plus de 700 projets pour le compte de 250 entreprises de tailles variées, du grand compte à la start-up.

EURODECISION intervient pour répondre aux besoins de nombreuses fonctions de l'entreprise (ressources humaines, supply chain, production, conception, marketing, innovation / transformation digitale). Son approche flexible lui permet de prendre en compte les spécificités de ses clients, tout en s'appuyant sur ses composants métier génériques. EURODECISION propose tous types de prestations autour des mathématiques décisionnelles : développement de solutions, édition, conseil quantitatif, AMO, expertise technique et formation.

L'existence de données numériques en volume de plus en plus important, souvent captées automatiquement, vient renforcer la demande sur ce marché et contribue à structurer l'offre d'EURODECISION autour des axes suivants : organiser et explorer les données, décrire et expliquer les mécanismes sous-jacents, prédire leur évolution, prescrire des solutions décisionnelles performantes.



50 mathématiciens



30 ans d'expérience en
Recherche Opérationnelle et
plus de **700 projets** réalisés

.....
Membres fondateur de la ROADEF
.....



250 clients

L'équipe de Recherche Opérationnelle développe des solutions logicielles pour les problèmes d'optimisation depuis plus de dix ans. Beaucoup de types de problème provenant de différents domaines intéressant la compagnie ont été abordés. Cela inclut le transport, le moteur de recherche, la conception de datacenter, le traitement automatique des langues, la vision, YouTube et Google brain.

Ce travail inclut le consulting pour des équipes de la société, mais aussi le développement de solveurs internes dont beaucoup sont publiés en open-source (voir <https://github.com/google/or-tools>). Ces solveurs concernent l'affectation, l'ordonnancement, la planification et le routage, utilisant des méthodes comme Mixed Integer Programming, Linear Programming, Constraint Programming, Local Search et SAT. Les problèmes abordés sont de grande taille, dépassant souvent les centaines de milliers de variables.

L'équipe est basée dans les locaux parisiens de la société. D'autres efforts dans le domaine sont également poursuivis dans les bureaux de Californie, de New-York et de Boston.



Google a proposé
le **challenge ROADEF de 2012**
sur la Réaffectation
de Serveurs



GUROBI OPTIMIZATION

SPÉIALISTE DE L'ANALYSE PRESCRIPTIVE
Gurobi aide les entreprises à prendre de meilleures décisions.

Gurobi propose un solveur de programmation mathématique, des outils pour l'optimisation distribuée et pour l'optimisation dans le Cloud, ainsi que du support technique. La vocation de Gurobi est d'assurer le succès des entreprises grâce à l'optimisation.

Gurobi Optimizer

Un solveur de programmation mathématique pour les problèmes MIP (MILP, MIQP et MIQCP), LP et QP.

Gurobi aide plus de 2100 entreprises opérant dans plus de 40 secteurs à transformer les données en décisions plus intelligentes. L'optimiseur Gurobi aide les utilisateurs à exposer leurs problèmes les plus complexes sous forme de modèles mathématiques pour trouver la meilleure solution parmi plusieurs milliards de possibilités. L'optimiseur Gurobi peut également devenir un assistant pour la prise de décisions. Il peut guider les choix d'un expert ou bien s'utiliser en mode entièrement autonome, sans intervention humaine.

Gurobi Compute Server –

Ce logiciel permet de créer des applications d'optimisation fiables et adaptées à la taille des besoins, utilisant au mieux les ressources matérielles disponibles.

Gurobi Compute Server permet de simplifier la conception et le déploiement d'applications d'optimisation modernes. Les calculs d'optimisation sont transférés de manière transparente vers un serveur d'optimisation dédié, ou vers plusieurs serveurs regroupés en un cluster. Les utilisateurs et les applications peuvent partager les serveurs grâce aux capacités avancées de mise en file d'attente et de répartition de charge. Les utilisateurs peuvent contrôler les tâches, tandis que les administrateurs peuvent gérer les serveurs.

Gurobi Instant Cloud - Solveur Gurobi intégralement géré sur Microsoft Azure® et Amazon Web Services®

Gurobi Instant Cloud est le moyen simple et économique d'exécuter le logiciel d'optimisation Gurobi dans le cloud. Il permet le lancement d'un ou de plusieurs serveurs dédiés, sur lesquels le logiciel Gurobi est pré-chargé pour gérer tous les besoins en optimisation.



HUAWEI TECHNOLOGIES

EQUIPEMENTS ET SERVICES TÉLÉCOM
Télécommunications / Équipements

Huawei Technologies est une entreprise internationale qui propose des solutions technologiques et de télécommunications à plus d'un tiers de la population mondiale.

Le laboratoire « Mathematical and Algorithmic Sciences Lab » compte 70 chercheurs travaillant sur les réseaux mobiles 5G, les réseaux logiciels et les solutions Big Data pour les télécommunications. Les thématiques de recherche portent sur de l'algorithmie, de l'optimisation, de l'apprentissage statistique, de la science de l'information et de la communication.

Les sujets de Recherche Opérationnelle portent principalement sur les réseaux orientés logiciel, dits Software-Defined Networks (SDN), qui permettent la programmation des équipements et l'externalisation des fonctions de gestion des services sur des contrôleurs centralisés, rendant possible l'utilisation de techniques d'apprentissage et d'optimisation, jusqu'alors réservées à la planification hors ligne. Dans ce contexte, les contrôleurs réseau peuvent tirer parti d'une puissance

de calcul importante (architectures multi-coeurs, grilles de calcul) et d'une grande masse d'informations pour adapter la configuration des équipements sur des échelles de temps variables. Ainsi, les contrôleurs peuvent résoudre des problèmes d'optimisation multi-fLOTS (combinatoire, stochastique, robuste) dans un environnement qui évolue continuellement. Dans ce contexte, nous développons des algorithmes pour résoudre des problèmes de routage et d'allocation de ressources à large échelle.





Fournisseur mondial de plateformes pour la Data Science et l'Optimisation.

En Recherche Opérationnelle, le moteur IBM CPLEX est utilisé par de très nombreuses entreprises dans différentes industries, ainsi que par de nombreuses universités pour l'enseignement et la recherche. Il ne constitue cependant qu'une partie de l'offre qui inclut également :

- L'environnement *CPLEX Optimization Studio* de développement et de tests de modèles de programmation mathématique ou programmation par contraintes (et stratégies de résolution combinant plusieurs modèles) ;
- Le moteur *CP Optimizer* qui est unique sur le marché et permet le développement et résolution de modèles de programmation par contraintes en mode « model and run », la stratégie de recherche en programmation par contraintes étant par défaut gérée par le moteur ;
- La combinaison unique du Machine Learning et de l'optimisation en une seule plateforme, *Watson Studio* ;

Les technologies d'optimisation d'IBM basées sur CPLEX et CP Optimizer permettent une utilisation efficace des ressources, avec toujours l'objectif d'améliorer les performances pour la résolution de problèmes d'optimisation du monde réel, et avec la vitesse requise par des applications potentiellement très interactives.

La robustesse est aussi un élément clé d'une application d'optimisation dont toute défaillance peut avoir un impact opérationnel important. Forts d'une vaste base installée, nous améliorons les algorithmes à chaque édition avec le souci permanent de la meilleure compatibilité possible. Toutes

les nouvelles fonctions sont testées sur une bibliothèque de modèles très diversifiée.

Aussi, de plus en plus de clients IBM utilisent l'optimisation combinée au Machine Learning. Différentes combinaisons sont possibles, la plus évidente étant de faire suivre la prédition (de la demande par exemple) par une optimisation des opérations (pour satisfaire la demande au maximum ou à moindre coût). Cependant d'autres combinaisons sont possibles dont par exemple l'apprentissage à partir des plans exécutés, ou l'apprentissage en tenant compte des différences entre plans optimisés et réellement exécutés.

Decision Optimization for Watson Studio, le dernier né de l'offre optimisation d'IBM est un composant clé de l'offre Watson Studio qui permet aux Data Scientists de configurer et d'évaluer des modèles d'optimisation, de les combiner avec des modèles prédictifs ou de Machine Learning, pour ensuite les mettre à disposition des utilisateurs business au travers d'une architecture moderne basée sur des micro-services.



En France, environ
6000 employés

L'équipe technique IBM Decision Optimization compte une cinquantaine de membres en France répartis entre équipes de R&D et consultants. Nos équipes travaillent en collaboration avec les autres départements d'IBM dont le CAS France (IBM Centre for Advanced Studies).



LocalSolver

LOCALSOLVER

OPTIMIZATION SOLVER & SERVICES
Supply Chain, Publicité, Télécom, Énergie, Banque

LocalSolver est un éditeur de logiciels et une société de services, spécialisé dans le domaine de l'optimisation et de l'aide à la décision. La société est issue du Bouygues e-lab, département de R&D en innovation et optimisation du groupe Bouygues.

Créé en 1994, membre fondateur de la ROADEF, le département de RO du groupe Bouygues est devenu LocalSolver en 2012, société offrant des logiciels et des services en RO en France et à l'international.

LocalSolver développe un solveur d'optimisation mathématique innovant. En sus de ce logiciel phare, développé depuis plus de 10 ans et utilisé par une centaine d'entreprises à travers le monde, son offre de services couvre le conseil, le prototypage, le développement, l'intégration, la maintenance. L'équipe de LocalSolver est reconnue pour la valeur ajoutée et l'excellence des solutions qu'elle développe pour ses clients depuis plus de 20 ans.

Son expertise technique, attestée par une cinquantaine de prix scientifiques et de publications dans des revues et conférences internationales sélectives, s'étend au-delà du spectre classique de la RO : algorithmique, optimisation, planification, prévision, analyse de données, revenue management, gestion de règles métier, simulation, etc. Une force de l'équipe est sa méthodologie agile de conduite de projets, ainsi que son expertise dans les technologies informatiques.



15 ingénieurs-docteurs en mathématiques & informatique se passionnent pour les métiers de leurs clients.

Thierry Benoist et Frédéric Gardi, directeurs associés, ont chacun reçu le Prix Robert Faure de la ROADEF (2006, 2012).



Chiffre d'affaires de 2M€, en croissance de 50% en 2018, multiplié par 5 en 5 ans.

100 sociétés clientes dans 20 pays ; 25% du chiffre d'affaires réalisé à l'international en 2018.



MAPOTEMPO

L'OPTIMISATION DE TOURNÉES ACCESSIBLE
À TOUS
Clustering et Problèmes de tournées de véhicules

Depuis 2014 Mapotempo ("Carte" et "Temps"en Espéranto) édite et distribue une nouvelle génération des solutions d'optimisation : ouvertes, accessibles, simples à utiliser et performantes.

L'équipe R&D de Mapotempo développe des solutions web de cartographie, planification et optimisation de tournées innovantes et libres. Nous accompagnons les professionnels ayant des problématiques d'optimisation de tournées sur différents secteurs : e-commerce, presse, santé, portage de repas, agroalimentaire, etc. À travers nos solutions accessibles aux PME/TPE, aux grands comptes et aux éditeurs de logiciel, nous avons pour ambition de démocratiser et de généraliser l'usage de solutions d'optimisation de tournées. L'équipe de recherche et développement est actuellement constituée de 8 personnes principalement spécialisées en développement Web, en développement mobile, en cartographie et 3 personnes sont actuellement en charge de la partie recherche opérationnelle.

Les thématiques abordées sont relatives au domaine de la tournée de véhicule, mais elles sont aussi variées que le panel de métiers rencontrés. Cela passe par les tournées de pose et de collecte de panneaux publicitaires, la livraison de produits extra-frais en temps limité ou des visites périodiques de service. Il est donc nécessaire de distinguer les contraintes génériques des contraintes particulières. Pour cela nous pouvons nous appuyer sur un panel de contraintes déjà modélisées au sein de

nos solutions, soit de fournir une adaptation du modèle général permettant d'intégrer ces nouveaux éléments.

Durant ces trois dernières années, nos efforts ont eu pour principal objectif d'ériger une API ouverte, dédiée aux problèmes de tournées de véhicules riches. Ceci afin que les éditeurs de logiciels puissent grâce à leur connaissance métier, sans ressource interne en recherche opérationnelle ou en aide à la décision, obtenir une solution sur-mesure pouvant s'intégrer à l'existant pour répondre aux besoins de leurs clients. Cette solution est également utilisée en interne via la plateforme Mapotempo Web ou par API pour répondre à des études ponctuelles.



Une structure de
15 personnes,
dont 10 au pôle
R&D à Bordeaux et
4 au siège à Biron.



3 personnes en charge
de la RO dont 1 doctorant.



OPRED

L'OPTIMISATION OPÉRATIONNELLE
SUR MESURE
Optimisation Combinatoire

Pour optimiser, anticiper, décider, négocier.

Opred est régulièrement sollicité pour réaliser sur mesure, ex nihilo ou à partir de *proof of concept* plus ou moins réutilisables, des applications opérationnelles à hautes performances en termes de temps de réponse, fiabilité, qualité et applicabilité "sur le terrain" des solutions produites. Se refusant à être distributeur de tel ou tel éditeur, c'est en toute indépendance et au mieux des intérêts du Projet que les choix de technologies sont opérés.

Chaque réalisation est ainsi un "mouton à cinq pattes", pièce unique dont la conception suppose autant de créativité et d'innovation que le développement (généralement au forfait) implique de rigueur. Les applications incluent également, en général, une part importante de savoir et savoir-faire métier au cœur stratégique de la décision, donc confidentiels.



Chaque jour, pendant des décennies,
les solutions développées par Opred
concernent – et facilitent – la vie
d'environ un million de voyageurs, et de
milliers de personnels de l'industrie ou
de la logistique.

Opred est membre de longue date du
Pôle de Compétitivité 'Pégase', devenu
il y a deux ans 'Safe Cluster'.

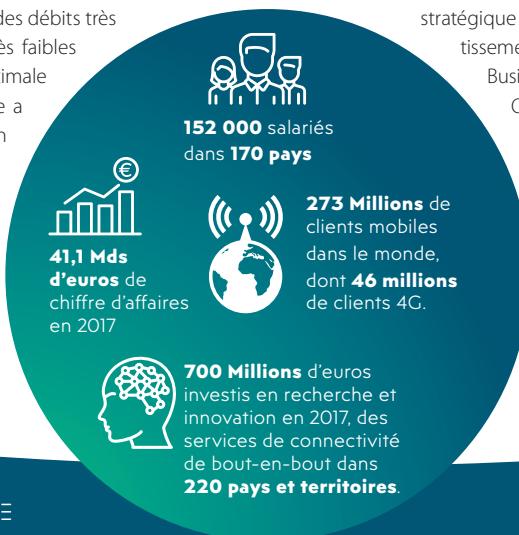


ORANGE

OPÉRATEUR INTERNATIONAL DE SERVICES
DE TÉLÉCOMMUNICATIONS /Acteur Numérique,
Télécommunications, Réseaux et Services

Orange est l'un des principaux opérateurs européens du mobile et du fixe et l'un des leaders mondiaux des services de télécommunications aux entreprises.
51^{ème} marque mondiale, le Groupe est présent auprès du grand public dans 29 pays et auprès des entreprises dans 220 pays et territoires.

Les télécommunications sont un terreau très fertile pour la Recherche Opérationnelle. La conception, le déploiement et la gestion opérationnelle de grands réseaux et services d'interconnexion, et d'échanges de données passent par le traitement quasi-quotidien de problèmes d'optimisation, souvent extrêmement complexes. Les mutations profondes qui s'opèrent actuellement dans le monde des télécommunications rendent l'expertise en Recherche Opérationnelle plus que jamais indispensable. En effet, l'introduction de la virtualisation dans les architectures de réseaux permettront de déployer à la demande et sur des échelles de temps très courtes, les chaînes de services adaptées aux besoins futurs des clients. De plus, la nouvelle génération de réseaux (5G) devra offrir des débits très élevés, des latences très faibles et une accessibilité maximale en tout temps. Orange a toujours maintenu en son sein un vivier d'experts en RO. La majorité de ces experts est regroupée dans deux départements de la direction transverse GDM (Green,



re!commerce GROUP

RECOMMERCE

OPTIMISATION D'UNE CHAÎNE DE RECONDITIONNEMENT DE SMARTPHONES
Télécom / Pricing / Reverse Logistique

Recommerce group est une fintech spécialisée dans la reprise, le reconditionnement et la revente de smartphones. La société travaille avec les plus grands distributeurs européens et avec les opérateurs téléphoniques des marchés français, suisse et ibérique.

Depuis sa création, RECOMMERCE GROUP a investi massivement en R&D afin de développer des outils de pricing et de prévisions lui permettant d'anticiper ce marché de la seconde vie. A la croisée des métiers de la finance et du e-commerce, les outils développés par le Recommerce Lab permettent la récupération de prix, le matching automatique de données, de calcul de marges unitaires par éléments de stocks, l'élaboration de prévisions marché et la publication de valeurs résiduelles. Ces briques logicielles ont permis d'assurer une croissance positive et une optimisation des marges à la société. En effet, l'activité de recommandation de produits est complexe car elle nécessite d'accorder les décisions d'achat de produits en fonction du bon canal de vente afin d'optimiser les délais, les coûts (achat, réparation, vente) et donc la marge finale sur chaque produit qui transite dans le système. Ces outils font appel notamment à des méthodes de Machine Learning, de Revenue Management et d'Apprentissage par Indicatrices.

- Création en 2009 – Incubation à INT TELECOM – 4
- RECOMMERCE est membre de la ROADEF depuis 2011

Les 5 domaines où l'équipe du Recommerce Lab utilise de la Recherche Opérationnelle et des outils d'Aide à la Décision sont : le pricing dynamique, les algorithmes de prévisions stock et prix, l'optimisation de la reverse logistique, le calcul de valeur résiduelle à terme et l'optimisation du cash-flow.



53 Millions d'euros de chiffre d'affaires en 2018

4 co-fondateurs
75 salariés dont 15 ingénieurs / 2 Docteurs



50 Millions d'euros levés en 2018 auprès de Capazanine et Creadev.



RENAULT

GROUPE AUTOMOBILE INTERNATIONAL
Industrie / Automobile

Le pôle optimisation combinatoire se compose de 5 ingénieurs (une forte croissance depuis 2 ans !), avec l'apport ponctuel de stagiaires de Master 2. Nous sommes orientés développement d'outils du fait de notre appartenance à la direction informatique. Friands utilisateurs des solveurs du marché (CPLEX, COIN-OR, LocalSolver), nous développons également des algorithmes dédiés.

Le pôle traite les problématiques d'optimisation pour toutes les directions métiers de RENAULT, avec comme clients historiques la logistique et la fabrication. Les thématiques abordées concernent l'ordonnancement, la planification, les tournées de véhicules, le bin packing 2D et 3D, la configuration d'ateliers. Nous cultivons la proximité avec les métiers clients, à la fois pour détecter de nouveaux besoins en optimisation et parce que la connaissance fine du « terrain » est indispensable à la réussite des outils d'optimisation.

Notre activité consiste à développer soit des composants d'optimisation qui seront intégrés dans des applications de nos collègues de la DSI, soit des outils d'optimisation complets avec l'interface utilisateur. Nous réalisons également des missions de conseil auprès des acteurs de terrain avec des outils d'optimisation « one shot » : par exemple pour dimensionner les effectifs d'un atelier ou pour configurer les flux logistiques d'une ligne de fabrication.

Nous réalisons les outils d'optimisation en interne, mais collaborons également avec le monde académique, à travers des challenges sur nos

problématiques industrielles, le challenge ROADEF 2005 sur le car sequencing et le challenge ESICUP 2015 sur le chargement de conteneurs. Les résultats de ces 2 challenges ont été appliqués en production.



57 Milliards d'€
de chiffre d'affaires
en 2018



3,88 Millions
de véhicules vendus en 2018



12 700 points de vente dans le monde



183 000
collaborateurs dans **37 pays**



Présent dans **127 pays** avec **36 sites** de fabrication

SCHNEIDER ELECTRIC

SPÉIALISTE MONDIAL DE LA GESTION DE L'ÉNERGIE / Energie et automation / Analyse de données et Optimisation

Schneider Electric offre des solutions intégrées, fondées sur son architecture et ses plateformes EcoStruxure™, dans de multiples domaines : la distribution électrique, les réseaux d'énergie, les bâtiments, les centres de données, les machines, les usines. Ces solutions nécessitent la mise en œuvre d'applications analytiques, conçues et développées de trois manières : directement par la ligne de business concernée, par une équipe centrale chargée de leur conception et développement (Analytics and Artificial Intelligence - AAI) ou par des partenaires externes.

La mission de l'équipe AAI est double : aider les lignes de business à concevoir, développer et déployer des applications répondant aux besoins des clients ou des services de Schneider Electric ; pérenniser les capacités du Groupe en termes de technologies, composants, données publiques et privées, compétences et partenariats. Les sujets traités portent (entre autres) sur l'évaluation de performances, la prévision de production ou de consommation d'énergie, l'anticipation de besoins de maintenance, l'optimisation d'investissements par simulation, la planification opérationnelle et le contrôle temps réel. Selon les sujets, l'équipe s'appuie sur différents partenaires et fournisseurs : outils logiciels, prestations d'expertise, développements spécifiques, collaborations académiques (thèse, projets bilatéraux ou collaboratifs).

L'équipe gère sa propriété intellectuelle avec discernement. Certaines innovations sont gardées secrètes, d'autres sont brevetées, d'autres sont volontairement publiées. L'équipe dépose plusieurs brevets et publie une dizaine d'articles par an, la plupart dans des conférences internationales en

Recherche Opérationnelle, Intelligence Artificielle, ou dans le domaine de l'Energie. Elle est engagée dans des activités de standardisation et d'enseignement, et participe aux activités de la ROADEF et des Groupes de Recherche du CNRS en Recherche Opérationnelle (RO) et Masses de Données, Informations et Connaissances en Sciences (MADICS).



142 000
employés dans plus de **100 pays**



25 Milliards d'euros
de chiffre d'affaires en 2017.
5% investis en R&D



Équipe AAI :
40 personnes,
2/3 en France (Grenoble),
1/3 aux Etats-Unis.



SNCF

UN DES LEADERS MONDIAUX
DE LA MOBILITÉ

Mobilité / Transport

Champion en France et à l'international des solutions de mobilité

L'équipe MOD (Modélisation et Optimisation de la Décision), à SNCF Innovation & Recherche, conçoit des approches innovantes pour optimiser l'exploitation ferroviaire. Les sujets traités vont de la conception des horaires et la planification des ressources (utilisation du réseau, rames, agents de conduite, agents sédentaires, maintenance) à la gestion en temps réel du trafic. Elle travaille en priorité sur des problèmes avec une dimension « système », aux interfaces entre SNCF Mobilités (transporteurs) et SNCF Réseau (gestionnaire du réseau). De nombreux sujets actuels portent sur la zone dense et le Mass Transit, où les flux de trains et de voyageurs sont très élevés. L'équipe est majoritairement constituée de docteurs (et doctorants) en RO, et travaille également sur des approches exploitant la simulation à événements discrets, le traitement et la visualisation de données.

Les prototypes développés sont ensuite repris par la cellule ROAD, dédiée à l'exploitation de ce type d'application au sein de la DSI. Cette entité assure la Maîtrise d'œuvre des projets en direct avec les clients internes et prend en charge leur industrialisation, impliquant en particulier les travaux suivants :

- Mise en qualité des codes de calcul et des jeux documentaires, afin de rendre ces codes maintenables, évolutifs et pérennes ;
- Encapsulation de ces composants de calcul dans des applications logicielles (clients lourds ou clients légers), impliquant souvent la réalisation d'IHM ergonomiques et adaptées aux contextes et utilisateurs du métier ;
- Interfaçage et intégration dans le SI des logiciels ainsi construits, ainsi que leurs maintenances évolutive et opérationnelle.



250 000
collaborateurs
à travers le
monde



Innovation et Recherche :
environ **100 personnes**, dont
une quinzaine en Recherche
Opérationnelle, et une dizaine
d'experts dans l'équipe ROAD,
côté DSI.



32 Milliards
d'euros
de chiffre
d'affaires en
2016



SOPRA STERIA

LEADER EUROPÉEN DE LA TRANSFORMATION
NUMÉRIQUE

Service numérique / Conseil et Intégration

Dans le domaine de la transformation numérique, Sopra Steria propose l'un des portefeuilles d'offres les plus complets du marché en Europe : conseil et intégration de systèmes, édition de solutions métiers et technologiques, gestion d'infrastructures, cybersécurité et exécution de processus métier (Business Process Services).

Le Groupe apporte une réponse globale aux enjeux de développement et de compétitivité des grandes entreprises et organisations en accompagnant celles-ci tout au long de leur transformation : compréhension stratégique, cadrage et mise en œuvre des programmes, transformation et exploitation des infrastructures informatiques, conception et mise en place des solutions, externalisation des processus métiers.

Pour assurer un tel positionnement, Sopra Steria capitalise sur un puissant retour d'expérience et s'appuie sur ses compétences en Recherche Opérationnelle pour apporter des réponses optimales aux enjeux stratégiques de ses clients. Le Groupe considère donc la Recherche Opérationnelle comme un domaine d'expertise capital pour son offre de transformation numérique.

Les équipes R&D de Sopra Steria comptent plusieurs centaines de collaborateurs en Europe et en Inde dont un grand nombre de docteurs dans différentes disciplines. Le Groupe est ainsi en mesure de mener à bien des projets de R&D très innovants et à très forte valeur ajoutée en s'appuyant sur une expertise scientifique, technique et/ou métier de très haut niveau.



En France, les activités de RO de Sopra Steria mobilisent déjà **plus** d'une vingtaine de collaborateurs répartis dans plusieurs entités et intervenant dans différents secteurs (transports, énergie, défense, ...).



Le Groupe prévoit une croissance forte de ses activités de RO dans les prochains mois.



TOTAL

BRANCHE « GAS, RENEWABLES & POWER »
(GRP)

La branche GRP de Total héberge la BU GNL (Business Unit « Gaz Naturel Liquéfié ») au sein de la direction Gaz. Cette BU est l'entité du groupe Total dédiée aux activités opérationnelles liées au GNL : production (liquéfaction), transport (par méthaniers ou camions), stockage et regazéification, commercialisation (achat et vente, à court ou long terme).

La compétence Recherche Opérationnelle présente dans la branche GRP (pour l'optimisation des actifs de Total ou l'analyse stratégique et économique) permet d'initier des projets répondant directement au besoin métier, et conduisant au développement de logiciels intégrant des modèles de RO.



209 milliards de dollars de chiffre d'affaires en 2018



Plus de **100 000 collaborateurs** dans le monde



Présent dans plus de **130 pays**



2ème portefeuille indépendant de Gaz Naturel Liquéfié mondial

Branche GRP :

- Créeée en 2016
- Activités : aval gaz, énergies renouvelables, électricité, efficacité énergétique

Recherche Opérationnelle pour le GNL :

- Optimisation court terme du programme de transport de GNL
- Support au trading de GNL
- Valorisation économique du portefeuille court et long terme

Le logiciel FLOW :

- 20+ utilisateurs au quotidien, dans plusieurs métiers du trading
- Des dizaines de tirs chaque jour
- Jusqu'à plusieurs millions de \$ dégagés en un tir



VEKIA

THE ENHANCED FORECASTING AND REPLENISHMENT
Machine learning / Previsions

Le research Lab de Vekia est un laboratoire multidisciplinaire et multiculturel, composé de membres hautement qualifiés dans les domaines de la science et de l'ingénierie de la data, du machine learning, de l'Intelligence Artificielle et de la R&D. Nous travaillons sur des données complexes et réelles fournies par certains des plus grands distributeurs.

La mission du Research Lab est de concrétiser la vision et les ambitions de Vekia en matière de recherche et d'innovation de pointe dans le domaine du Machine Learning et des techniques d'IA, de soutenir la croissance durable de Vekia et d'assurer un leadership scientifique dans le développement de solutions pour nos clients offrant une valeur ajoutée forte dans le domaine de la Supply Chain pour aujourd'hui et pour demain. Pour atteindre ces objectifs, nous nous concentrons principalement sur les thèmes de recherche suivants :

- La création de nouveaux modèles de recherche algorithmique : l'objectif est de définir **les meilleurs modèles de prévision** de la demande afin de garantir à nos clients qu'ils prendront les meilleures décisions, basées sur une compréhension et une analyse approfondie de leurs besoins ;
- Le développement de prototypes de solutions entièrement testés et aux performances garanties : l'objectif est de développer et **tester de manière exhaustive les solutions sur différents environnements** qui serviront de socle au futur développement de nos moteurs de prévision et d'optimisation.

PARTIE 2

RÉALISATIONS EN RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

AIR FRANCE	42
AIR LIQUIDE	44
AMADEUS	46
ARTELYS	48
CITODI	52
EDF	54
EURODECISION	58
GUIROBI	62
GOOGLE	63
HUAWEI	64
IBM	66
LOCALSOLVER	68
MAPOTEMPO	71
ORANGE	72
RECOMMERCE	74
RENAULT	76
SNCF	78
TOTAL	80
VEKIA	84



AIR FRANCE

COMPAGNIE AÉRIENNE MONDIALE
Aéronautique / Maintenance

PROJETS DE RO

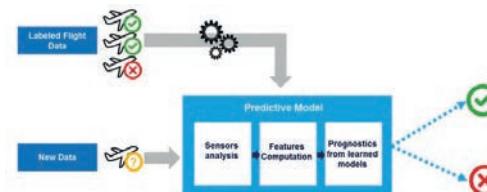
PROGNOS FOR AIRCRAFT

Les avions produisent de grandes quantités de données grâce à des capteurs qui enregistrent en continu leurs comportements tout au long des vols. L'exploitation de ces données nous permet de construire un outil d'aide à la décision qui va apprendre des pannes passées pour détecter les prémisses de futures pannes et proposer de remplacer des pièces avant qu'elles ne tombent en panne. L'apprentissage automatique nous permet donc de proposer une alternative à la maintenance préventive et curative : la maintenance prédictive. Grâce à des techniques d'optimisation et aux prédictions de Prognos for Aircraft, nous pouvons donc envisager de déposer les pièces au moment le plus opportun : avant qu'elles ne tombent en panne, mais en utilisant au maximum leur potentiel.

Le moteur d'aide à la décision permet d'anticiper les pannes afin de :

- Améliorer les opérations et le dispatch
- Limiter les retards dus à des problèmes techniques
- Réduire le nombre d'annulations de vol
- Contribuer à la sécurité des vols

Le moteur d'aide à la décision permet d'anticiper les pannes



Un modèle d'apprentissage automatique

Comme illustré ci-dessous, le modèle va apprendre des données de vols et des occurrences de pannes passées. A partir des données continues, l'analyse des capteurs nous permet d'isoler les caractéristiques porteuses d'information pour différencier entre comportement nominal et prémisses de pannes. Enfin, un modèle permet de trouver la bonne combinaison de ces caractéristiques pour lever des alertes.

Forts des gains constatés grâce aux développements sur l'A380 en 2016 et 2017, l'équipe s'agrandit en 2018 et 2019 avec notamment **6 data scientists** pour équiper l'ensemble de la flotte d'Air France KLM de cet outil.



PRIX DE
L'INNOVATION
AGIFORS CREW
2017



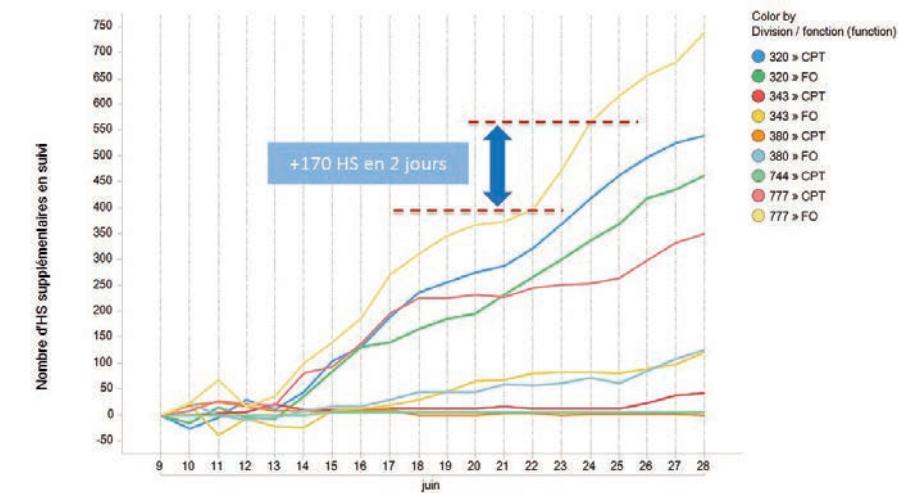
5Go/j

Tous les jours, 5 Go de données sont ajoutés à la base de données

de chaque modification planning pour l'ensemble des navigants a considérablement augmenté les possibilités d'analyse.

Voici quelques exemples d'études réalisées grâce à ces nouvelles données :

- Observation du taux de perturbation des repos dans les dernières semaines
- Évolution des heures supplémentaires (HS) durant l'exploitation
- Modifications manuelles réalisées sur les désideratas des navigants





AIR LIQUIDE

LEADER MONDIAL DES GAZ INDUSTRIELS
ET MÉDICAUX / Production et distribution de gaz
industriels et médicaux

PROBLÈME COMBINÉ DE STOCKS ET DE TOURNÉES

RECHERCHE OPÉRATIONNELLE & SCIENCES DE DONNÉES @ AIR LIQUIDE

Un exemple particulier d'innovation ouverte est notre parrainage du challenge ROADEF / EURO 2016 sur le problème de l'optimisation des tournées et des stocks, un challenge d'optimisation clé pour l'industrie et la communauté scientifique. Le défi ouvert est organisé tous les deux ans par ROADEF et EURO, les sociétés françaises et européennes de Recherche Opérationnelle respectivement, pour résoudre un problème de recherche industriellement pertinent proposé par le sponsor. Dans le passé, nos clients de gaz liquide en vrac géraient leurs propres stocks et généraient des commandes (Customer Managed Inventory). Beaucoup ont maintenant transféré cette responsabilité à Air Liquide où cette gestion des stocks par le fournisseur (Vendor Managed Inventory) permet une meilleure prévision sur la demande des clients en temps réel et les niveaux des stocks, généralement transmis automatiquement à nos centres d'opérations par télémétrie. Ce problème mixte VMI / CMI comporte de nombreuses complexités qui vont bien au-delà du problème de tournées de véhicule sous capacité avec des fenêtres de temps (CVRPTW) bien étudié dans la littérature. Ce problème hautement combinatoire ayant été fortement exploré en interne à l'aide de nombreuses approches exactes et approchées (colonies de fourmies, heuristique de recherche locale et génération de colonnes), l'innovation ouverte nous a permis de

découvrir des nouvelles équipes de recherche académiques et industrielles, des nouvelles méthodes (*voir encadré*) et d'obtenir des nouveaux résultats. Notre parrainage du challenge ROADEF/EURO continue ainsi d'influencer l'orientation de recherche scientifique en fournissant des cas de référence pertinents industriels.



MODÈLE GÉNÉRIQUE D'OPTIMISATION DE PRODUCTION

Les usines de séparations de l'air (ASU) qui produisent principalement de l'oxygène et de l'azote sont des actifs clé d'Air Liquide avec plus de 500 unités dans le monde. L'optimisation de ces usines est critique en temps réel ou pour planifier sur un horizon de quelques jours afin de réduire la consommation énergétique de ces usines (environ un millième de la consommation mondiale d'électricité). De nombreux projets locaux d'optimisation avaient menés dans le passé sur des usines spécifiques. Or, ces unités bien que différentes d'un site à l'autre sont

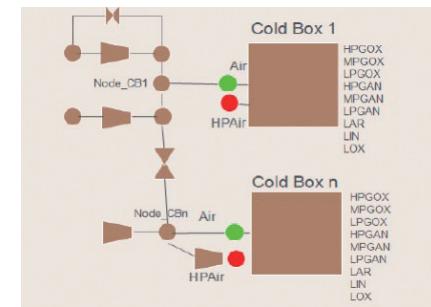


Hyperheuristiques : La méthode du gagnant du challenge

La gagnant du challenge Air Liquide a utilisé une approche s'appuyant sur une séquence d'heuristiques élémentaires de bas niveaux qui peuvent être appliquées ou non à la solution courante pour l'améliorer. La sélection des heuristiques s'appuie sur des probabilités de succès basées sur les performances passées de ces heuristiques. Ainsi, une constante amélioration de la performance est obtenue avec un apprentissage en ligne des performances.



442 usines de production
exploitées mondialement (ASU,
SMR, cogénération)



composées de plusieurs équipements de base tels que des compresseurs d'air, d'une colonne de distillation cryogénique, de liquéfacteurs, de stockages d'azote ou d'oxygène liquides. Le projet a visé à fournir un ensemble de modèles physico-mathématiques élémentaires applicables à la plupart de ces usines dans le monde.

Les apports de ce projet d'envergure sont pour Air Liquide :

- **Réduction des temps de déploiement** d'un modèle d'optimisation d'usines en partant de modèles pré-existants
- **Acceptabilité** : configuration par l'utilisateur des modèles de base plutôt que programmation
- **Maintenance facilitée** des applications basées sur un socle commun



AMADEUS

1^{ER} FOURNISSEUR MONDIAL DE SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES POUR L'INDUSTRIE DU VOYAGE / Informatique / Industrie du voyage

AFFECTATION OPTIMALE DE SIÈGES

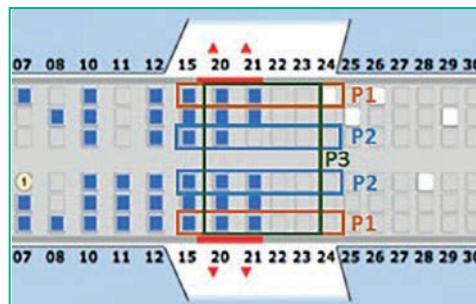
Ce problème consiste à trouver des sièges adjacents dans un avion pour un groupe de passagers, tout en maximisant les préférences personnelles de chacun. Le système impose cependant qu'une solution soit retournée en moins de 500 ms, pour des groupes allant jusqu'à 9 passagers, une contrainte opérationnelle à considérer compte tenu de la puissance de calcul limitée. Une étude comparative de différentes heuristiques et méthodes exactes sur différents solveurs a été réalisée. En se basant sur des instances de production extraites de nos systèmes, c'est l'heuristique utilisant des algorithmes de graphe qui a été choisie car elle correspondait le mieux aux besoins du métier.

Les résultats obtenus par l'heuristique :

- 95% d'instances résolues à l'optimal
- 99.9% d'instances résolues en moins de 500ms
- Temps de résolution moyen de 7.5ms

Cette étude interne a été effectuée en l'espace de trois mois par le département de recherche et innovation et permettra d'améliorer la qualité des affectations de sièges proposées pour tous les passagers gérés par les systèmes d'Amadeus.

Exemple d'affectation d'un groupe de 4 personnes avec des préférences particulières (P)



SCHEDULE RECOVERY

Amadeus Schedule Recovery est la solution d'Amadeus pour la gestion en temps réel des opérations et des perturbations aériennes. Le problème théorique de la gestion des perturbations a été le sujet du challenge 2009 de la ROADEF. Aujourd'hui, Amadeus Schedule Recovery est d'une part un agrégateur de données en temps réel (vols, passagers, maintenances...) et d'autre part un outil d'aide à la décision combinant toutes ces données pour permettre de prendre les décisions les mieux informées. Par conséquent, ces solutions auront le plus de chances d'être acceptées par les différents acteurs de la compagnie aérienne.



Obtenir une bonne solution en un temps très court : 500 ms

Plusieurs méthodes de résolution ont été comparées pour respecter la contrainte du temps de réponse. Notamment plusieurs modèles PLNE testés avec différents solveurs, ainsi qu'une heuristique s'inspirant d'un algorithme de plus long chemin.



En 2017, l'équipe de recherche et innovation a publié 4 articles dans des revues scientifiques, présenté dans 7 conférences et obtenu la Best innovation Award à l'AGIFORS Symposium

300 minutes
de retard évités en moyenne chaque jour grâce à l'optimisation des créneaux d'atterrissements



► Amadeus Schedule Recovery c'est aussi :

- Un optimiseur déployé dans le cloud
- Une optimisation continue des créneaux d'atterrissements 24/7
- La gestion des perturbations
- L'affectation des avions, la planification de maintenances, la réaffectation des passagers...

Amadeus Schedule Recovery a été déployé pour le groupe Qantas en septembre 2015 en remplacement de l'ancien système de gestion des opérations qui était utilisé par la compagnie australienne. Une équipe d'une dizaine de personnes travaille à plein temps sur ce projet, la moitié d'entre elles ayant des compétences en Recherche Opérationnelle.



Interface de Amadeus Schedule Recovery



SOLUTIONS EN OPTIMISATION
Services & Conseil / Édition logicielle / Études

ARTELYS CRYSTAL RESOURCE OPTIMIZER

La planification des ressources est une question fondamentale pour les entreprises qui souhaitent maîtriser leurs coûts et améliorer leur productivité sans sacrifier la qualité de service. Elle doit être coordonnée sur plusieurs horizons et prendre en compte de nombreuses contraintes et attentes. La recherche d'un planning réalisable peut ainsi devenir si complexe que son optimisation est souvent délaissée.

C'est pour éviter cet écueil qu'Artelys a entrepris la refonte, en 2015, de ses différents logiciels de planification en **une plateforme de modélisation des processus de planification d'activités et de ressources** modulaire et hautement configurable nommée Artelys Crystal Resource Optimizer.

La mutualisation des solutions de planification en un socle logiciel commun a procuré des avantages considérables aux équipes techniques et aux clients d'Artelys :

- Les coûts de développements pour concevoir une solution de planification spécifique et intégrée sont très réduits.
- Une configuration par défaut, fruit de l'expérience d'Artelys, est proposée aux clients.
- La gestion des données, l'historisation des scénarios et la visualisation étant préconfigurés, les consultants d'Artelys peuvent se concentrer sur la pertinence des modèles !



UNE LIBRAIRIE DE MODELES D'OPTIMISATION ET DE PREVISION CONFIGURABLES

Afin de proposer l'approche la plus adaptée à la problématique métier, le cœur de calcul intègre différents modèles d'optimisation (PLNE, PPC, Recherche Locale, méthodes hybrides) et de prévision ouverts et paramétrables



Artelys a remporté le challenge MINO en décembre 2016.

Ce challenge portait sur l'optimisation conjointe des coûts d'investissement et d'opération d'un réseau de traitement d'eau polluée, soit un problème d'optimisation non-linéaire en variable mixte particulièrement ardu résolu à l'aide d'Artelys Knitro, sans spécialisation additionnelle des algorithmes

EXEMPLES D'APPLICATIONS

1. **SFR SERVICE CLIENT** utilise une solution basée sur Artelys Crystal Resource Optimizer pour prévoir les volumes de requêtes-clients par activité, dimensionner les besoins d'externalisation en centres d'appels et planifier la répartition des appels entre les centres selon des contraintes de compétences, de capacités,

d'engagements contractuels et d'orientations stratégiques.

2. **L'AÉROPORT DE NICE-CÔTE D'AZUR** a choisi Artelys Crystal Resource Optimizer pour prévoir l'affluence et planifier les vols, simuler les besoins en ressources aéroportuaires sur la base des prévisions de trafic et améliorer la gestion des investissements.



Refonte du processus de prévision d'activité et de planification des interventions techniques de GRDF : Artelys Crystal Resource Optimizer est aujourd'hui utilisé dans **plus de 60 sites** et permet de planifier l'activité de plus de **3000 agents**.

ARTELYS KNITRO

Artelys Knitro est le solveur d'optimisation non-linéaire le plus avancé au monde. Conçu, dès 2001, par la société Ziena Optimisation regroupant des chercheurs de l'université de Northwestern (Chicago, USA), dont notamment Jorge Nocedal et Richard Waltz, ce solveur de référence est particulièrement robuste pour des problèmes de grande échelle, et hautement configurable pour s'adapter à des problèmes aux formulations variées.

À l'issue d'un partenariat de long terme, Artelys acquiert Ziena Optimisation en juillet 2015. De cette fusion naît Artelys Knitro, une équipe de développement renforcée et une ambition partagée d'étendre le champ d'applications de cette technologie de pointe. Aujourd'hui, Artelys Knitro est utilisé quotidiennement par près de 450 chercheurs, ingénieurs ou économistes dans 40 pays pour résoudre des problèmes complexes dans des secteurs aussi diversifiés que la finance, l'énergie, le marketing, l'économie ou la santé.

EXEMPLES D'APPLICATIONS :

CENTRE DE RECHERCHE SUR LE CANCER, *Memorial Sloan Kettering Cancer Center, USA*

Ce projet a pour but d'optimiser l'irradiation lors des traitements de cancers par imagerie médicale. Le problème a deux objectifs conflictuels : avoir assez de radiation pour traiter la tumeur tout en épargnant au maximum les tissus environnants.

Pour ce faire, un algorithme en 3 étapes a été implémenté :

Cette diversité d'applications, parfois insoupçonnées, offre à l'équipe d'Artelys de très intéressants problèmes d'optimisation qui génèrent une extraordinaire volonté de proposer, au fil des régulières releases, des fonctionnalités de pointe et des performances inégalées.

 **450 utilisateurs
dans 40 pays**



**QUATRE ALGORITHMES
dédiés aux problèmes
non-linéaires continus
et à variables mixtes.**

Artelys Knitro implémente 2 algorithmes de point intérieur, un algorithme d'ensemble actif et un algorithme SQP. Ces quatre algorithmes permettent d'adresser des problèmes aux dimensions et propriétés très variées.

1. Maximisation des radiations pour les cellules atteintes (en respectant des doses acceptables)
 2. Minimisation des radiations sur les tissus sains
 3. Post-traitement pour obtenir le profil de radiation final
- Les trois étapes de cette solution sont résolues avec Artelys Knitro. La méthode a été implantée en Avril 2017 et a permis de traiter avec succès plus de 120 patients entre avril et octobre 2017.

ARTELYS CRYSTAL SUPER GRID

Quel mix électrique pour répondre à une cible de développement de renouvelables ? Comment dimensionner au mieux une capacité d'échange entre deux pays ? Quel est l'impact du couplage des marchés d'électricité sur les indicateurs de sécurité d'approvisionnement ? Autant de questions auxquelles la Recherche Opérationnelle permet d'apporter des réponses convaincantes.

Dans le contexte de la transition énergétique, de l'intégration des énergies renouvelables et de l'accroissement des interconnexions électriques, des modèles de plus en plus sophistiqués doivent être mis en œuvre pour la réalisation d'analyses prospectives pertinentes.

Artelys Crystal Super Grid est le fruit de ce constat et **d'une politique ambitieuse de R&D dans les domaines du génie logiciel et de l'optimisation numérique**. Cette plateforme, hautement configurable, propose des fonctions d'optimisation globale des mix énergétiques. L'utilisateur peut maintenant, depuis une interface graphique simple et ergonomique, optimiser les investissements pour des dizaines de technologies de production/transport/stockage, à une échelle continentale, en prenant en compte plusieurs dizaines de scénarios météorologiques au pas de temps horaire.

Cette technologie de pointe a notamment été **choisie par la Direction Générale énergie de la Commission Européenne** pour le développement des modèles de simulation des systèmes et marchés énergétiques européens METIS. METIS, basé sur la plateforme Artelys Crystal, permet à la Commission Européenne d'évaluer les décisions de politique énergétique européenne en amont de leur mise en œuvre.

OPTIMISATION DES CAPACITÉS

 Un algorithme de décomposition a été développé afin de réaliser l'optimisation d'investissements énergétiques pour des centaines de capacités de production / transport / stockage, sur des dizaines de variantes climatiques au pas de temps horaire. Traiter des problèmes de plusieurs milliards de variables et de contraintes devient ainsi possible.

EXEMPLES D'APPLICATIONS

Artelys a réalisé pour l'ADEME, en 2015, une étude qui vise à évaluer dans quelle mesure la production d'électricité française pourrait être à 100% d'origine renouvelable d'ici à 2050, tout en garantissant une bonne qualité de fourniture d'électricité.

À cet effet, Artelys a réalisé des calculs qui optimisent conjointement les capacités de production (agencement des diverses filières renouvelables dans les différentes régions du territoire français) et celles des lignes du réseau de transport inter-régional, ainsi que la simulation de la gestion optimisée du système électrique au pas de temps horaire sur plusieurs scénarios d'aléas climatiques. Les contraintes relatives à la complexité de la gestion heure par heure d'un système électrique (caractère intermittent et limites d'implantation géographique des énergies renouvelables, capacité du réseau de transport, gestion dynamique des stockages d'énergie, pilotage de la demande électrique) ont été prises en compte.



CITODI

SOLUTION D'OPTIMISATION DE TOURNÉES
EN TEMPS RÉEL

Domaine / Thématique

PROJET 1 DE ROAD : CERBA HEALTHCARE

Le projet Cerba a consisté à développer une solution d'optimisation de tournées pour les préleveurs des laboratoires Cerba HealthCare en prenant en considération le créneau horaire choisi par le client, les contraintes d'un laboratoire sur les durées de prélèvement et d'analyse d'un échantillon et la productivité nécessaire au maintien des opérations.

Apport du projet pour l'entreprise :

- Optimisation en temps réel de la tournée du préleveur
- Augmentation de la productivité
- Augmentation de la satisfaction client

Les éléments de budget sont confidentiels. L'augmentation de la productivité est de 30% et la qualité de service est parfaite car 100% des contraintes horaires ont été respectées.

PROJET 2 DE ROAD : DPD FRANCE

La société DPD France qui livre plus de 300 000 colis en France souhaitait un outil d'aide à la décision pour l'optimisation des tournées des chauffeurs-livreurs. Cet outil a pour vocation d'accompagner le chauffeur dans son processus de livraison afin que les créneaux « predict » (créneau d'une heure) soient respectés, que la productivité des livreurs soient à minima fiabilisée voire améliorée pour les chauffeurs les moins expérimentés, tout en offrant une vision globale au chauffeur de l'état du trafic et des options de déroutage à sa disposition.

Apports du projet pour l'entreprise :

- Respecter les contraintes horaires
- Augmenter la productivité
- Outil d'aide à la décision pour le chauffeur

Les éléments de budget sont confidentiels. L'augmentation de la productivité est de 15% à 20% en fonction du chauffeur. La qualité de service est parfaite car 100% des contraintes horaires sont respectées.



CITODI C'EST QUOI ?

La solution Citodi dispatche et optimise dynamiquement des ressources en prenant en considération l'ensemble des variables d'un trajet (lieu d'enlèvement, de livraisons, type de véhicule, route, trafic ...) ainsi que les remontées du terrain en temps réel (nouvelles courses, aléas clients, panne véhicule, etc.).



Lauréat de Start@System X en partenariat avec l'IRT System X dans le cadre du projet MSM (Modélisation de Solutions de Mobilité)

PROJET 3 DE ROAD : RENAULT-NISSAN

Dans le cadre de l'appel à projet Start@System X organisé par l'IRT System X dont la société Citodi a été lauréate. Nous avons développé pour le Groupe Renault-Nissan un outil de simulation dont le but était de pouvoir dimensionner et opérer une flotte de véhicules autonomes pour proposer un service de car-sharing en fonction de la demande, en intégrant une multitude de contraintes.

Apports du projet pour l'entreprise :

- Dimensionnement d'une flotte de véhicules autonomes
- Augmentation de la mutualisation
- Gestion automatique du dispatch

Les éléments de budget sont confidentiels. Nous avons obtenu des résultats au-delà de nos espérances. Grâce à l'optimisation de la flotte, nous avons été capable de dimensionné celle-ci, de définir des modèles afin de maximiser le taux d'occupation tout en garantissant une qualité de service équivalente voire supérieure.



EDF

OUSER LE FUTUR & INNOVER AU PRÉSENT
Production, Fourniture et Commerce d'électricité

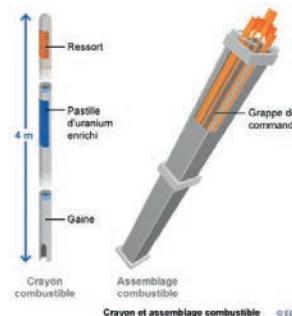
PROJET POGUES

Les grappes sont des composants spécifiques insérés au sommet des assemblages combustibles. Lors de chaque arrêt d'un réacteur nucléaire, après déchargement du combustible en piscine, des opérations complexes de permutation de ces grappes doivent être mises en œuvre.

Le logiciel POGUES a été développé par le département EDF/R&D/OSIRIS pour le compte de l'UNité d'Ingénierie d'Exploitation (UNIE) de la Direction du Parc Nucléaire. Il détermine des séquences optimisées de déplacements des grappes d'assemblage en assemblage, respectant des contraintes métier complexes. POGUES calcule aussi le positionnement en piscine combustible des assemblages déchargés du cœur du réacteur, dans le but de minimiser le temps de trajet du robot de manutention déplaçant les grappes.

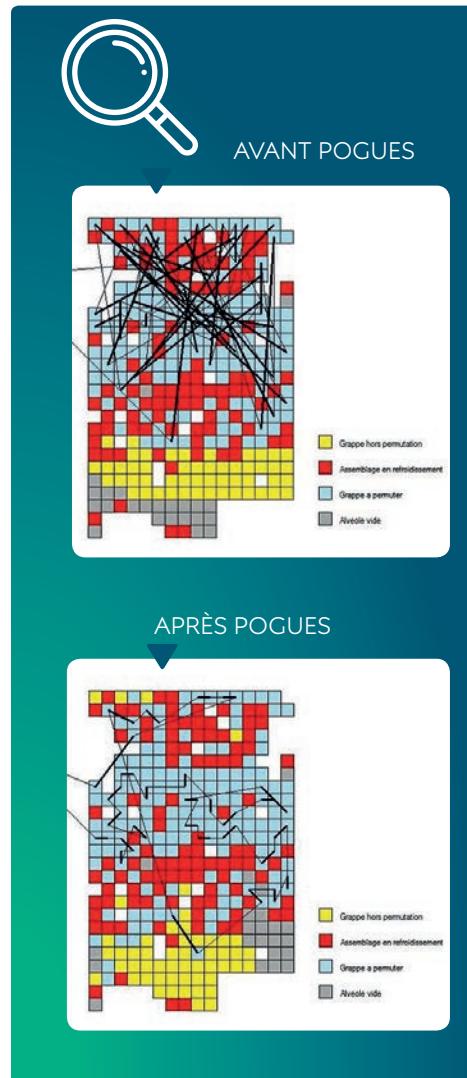
Il a été nécessaire de développer des algorithmes dédiés performants pour résoudre ce problème.

Le procédé industriel a fait l'objet d'un dépôt de brevet. POGUES a été conçu comme un code générique. Il permet ainsi de traiter tous les types de réacteurs nucléaires. POGUES a été mis en service sur l'ensemble du parc nucléaire en 2015. Des gains de l'ordre de 3h30 sur le temps total des permutations sont obtenus, ce qui permet de raccourcir d'autant la durée d'indisponibilité du réacteur lorsque les opérations de renouvellement de combustibles sont sur le chemin critique de l'arrêt. Cela correspond à un gain financier estimé à environ 2,5 millions chaque année pour EDF.



FOCUS SUR UN POINT PARTICULIER ALGO

Les problèmes d'optimisation à résoudre ici : construction des permutations et placement des assemblages en piscine combustible, sont particulièrement difficiles, et constituent des instances de deux classes de problèmes NP-complets bien connus de la littérature, le voyageur de commerce et l'affectation quadratique. S'ajoutent à ces difficultés des contraintes opérationnelles qui imposent des temps de réponse très courts (de l'ordre de la trentaine de secondes). (nouvelles courses, aléas clients, panne véhicule, etc.).



PROJET « ETUDE DU SYSTEME ELECTRIQUE PROSPECTIF AVEC FORT TAUX DE PENETRATION D'ENERGIES RENOUVELABLES »

Le développement de l'éolien et du photovoltaïque (PV) modifie en profondeur la gestion du système électrique. L'insertion massive de ce type de production devra être accompagnée par une transformation du système électrique à plusieurs niveaux. Ceci comprend l'adaptation des règles et outils de gestion du système électrique, le développement des infrastructures de réseaux et l'évolution de la structure du mix de production et des systèmes de protection. Dans ce contexte, se posent, par exemple, les questions suivantes :

- **Quelles flexibilités pour compenser la variabilité ?**

- Comment dimensionner le parc pour réaliser l'équilibre offre-demande avec une production en grande partie variable ?

- Quelle place pour le stockage et le pilotage de la demande pour faire face à cette variabilité ?

- **Quelle robustesse du système électrique européen ?**

- Quel impact auront les erreurs de prévision de la production EnR sur la gestion des risques physiques ?

- La stabilité de la fréquence reste-t-elle garantie malgré la baisse d'inertie côté production ?

- **Quel rôle pour les réseaux et les interconnexions ?**

- Quel besoin de renforcement et d'instrumentation des réseaux de transport et de distribution ?

- Quel intérêt à développer les interconnexions pour gérer la variabilité en profitant du foisonnement géographique ?

Répondre à ces questions fait intervenir la notion de la gestion efficace des ressources. Les outils et les méthodes d'optimisation y jouent un rôle important. Nous esquisserons rapidement à quel niveau se joue ce rôle clé.

Afin d'analyser ces questions EDF R&D, a réalisé des études ayant comme toile de fond un scénario de développement futur des EnR en Europe. Le scénario choisi est issu de la Roadmap energy 2011 de l'Union Européenne (UE), et correspond au scénario « High RES » à 2030, avec 60 % d'EnR dans la production électrique, dont 40 % d'éolien et de PV. Nous avons conservé les hypothèses du scénario en termes de demande, de prix des énergies et du CO₂, ainsi que de répartition globale en énergie de toutes les filières bas carbone : nucléaire, biomasse, hydraulique, éolien et PV.

Ceci représente un développement EnR plus important que celui attendu par les orientations du conseil européen dans le « Energy and Climate Framework » qui prévoit 30 % d'éolien et PV à 2030. Un tel scenario permet d'identifier les conditions de faisabilité des scénarios de développement massif de production éolienne et PV en Europe. EDF R&D a construit sur cette base un jeu de données européen complet et détaillé en respectant les volumes globaux en énergie par filière de la feuille de route : l'hypothèse a été faite d'un développement homogène de l'éolien terrestre sur l'Europe avec une densité d'équipement des sur-



60% d'énergies renouvelables dans la production électrique ?

Scénario EnR haut UE 2030	GW	Facteur de charge (h/an)
Solaire (PV)	220	1100
Eolien terrestre	280	1900
Eolien en mer	205	3200
Biomasse	65	3000
... plus l'hydraulique existant		
Hydraulique	120	4000

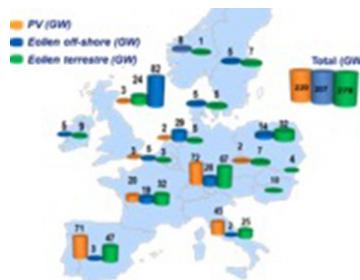
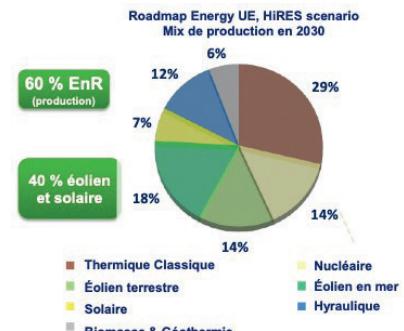
Hypothèses de coûts des combustibles & CO ₂	
Combustible	Prix
Charbon	86 €/t
Gaz	10 €/MMBtu
Fioal	107 €/baril
CO ₂	35 €/t

faces agricoles et des marais de 160 kW/km², un développement de l'éolien off-shore au Nord de l'Europe qui présente les sites et le potentiel les plus favorables, et du PV au Sud (mais prenant en compte le très fort volontarisme allemand pour le développement du PV).

Préalablement à l'analyse de l'impact de l'éolien et du PV sur le système électrique, il paraît important de souligner le caractère dit « intermittent » de ces énergies, et de le caractériser en termes de variabilité et d'incertitude. Le terme intermittence fait référence au fait que les productions éoliennes et PV ont une nature incertaine. Ceci recouvre d'une part la « variabilité », soit la variation temporelle de la production, et d'autre part « l'incertitude » associée à cette variabilité et liée aux erreurs de prévision des aléas climatiques qui contrôlent la disponibilité de leur énergie primaire (le vent et le soleil).

L'OPTIMISATION DANS UN PLUS GRAND ENSEMBLE.

Cette étude² stratégique, effectué avec le modèle CONTINENTAL³, s'appuie comme on a pu le voir sur un ensemble de connaissances diverses. Ces connaissances impliquent aussi bien l'expertise des systèmes étudiés, l'analyse de données et la statistique, la météorologie et l'utilisation d'un ou plusieurs outils « d'optimisation ». De par le caractère hautement stratégique des résultats d'un tel système complexe d'outils, plus que jamais la validité et la fiabilité des briques élémentaires qui le composent sont essentielles. Au niveau de l'optimisation, ceci implique l'utilisation d'algorithmes dont la convergence vers une solution (locale) peut être prouvée. L'utilisation de méthodes pouvant donner des garanties de performance au niveau de l'optimalité prend également tout son sens. En effet, tenir compte de l'écart à l'optimalité permet de s'assurer de la signification de la valorisation d'un élément nouveau à intégrer dans le système. L'avenir verra l'utilisation de méthodes plus poussées de l'optimisation sous incertitudes intégrées à ce type d'études. L'étude de systèmes de plus en plus large et complexes fait des méthodes de décomposition le pilier de ces développements.



1 La répartition spatiale de la production EnR tient compte des capacités de production encore existantes à cet horizon, dont le nucléaire en France, ce qui a conduit à moduler la répartition de l'éolien entre l'Allemagne et la France afin de maintenir des soldes d'imports/exports « raisonnables ».

2 Les résultats sont disponibles sous le DOI : 10.23723/1301:2016-5/1771

3 N. Langrene, W. van Ackooij et F. Breant, «Dynamic Constraints for Aggregated Units: Formulation and Application,» IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26, n° 13, 2011



EURODECISION

PME SPÉCIALISÉE DANS LES MATHÉMATIQUES
DÉCISIONNELLES

Services / Conseil / Édition de logiciels / Études

EUROPORTE : OPTIMISATION DU DIMENSIONNEMENT DES EFFECTIFS

En 2015, EUROPORTE a souhaité refondre son outil de dimensionnement des effectifs de conducteurs et d'agents d'exploitation au sol en France. Développé sous Excel en interne, cet outil visait à simuler et calculer, un an à l'avance, les besoins en personnel pour chaque traction ferroviaire et chaque lieu de prise de service. Cherchant à pallier le manque de maintenabilité de la solution, l'entreprise ferroviaire a décidé de s'équiper d'une application plus robuste en mode web. Pour l'accompagner dans son projet de refonte, EUROPORTE a fait appel à EURODECISION.

Apports du projet pour EUROPORTE

- Optimisation de la planification des journées de service
- Housse de la productivité de la société
- Gains de temps pour les planificateurs, qui peuvent tester de nombreux scénarios



FOCUS

- Une application full-web sur mesure
- Un module de simulation permettant d'étudier différents scénarios de dimensionnement d'effectifs
- Un module d'optimisation des roulements cycliques

ILLUSTRATION DU PROJET

Grâce à leur habileté des projets spécifiques et à leur forte capacité de compréhension métier, les experts d'EURODECISION ont conçu un outil de dimensionnement d'effectifs sur mesure prenant en compte les contraintes de planification d'EUROPORTE. Robuste, la nouvelle application web multi-utilisateurs permet aux planificateurs d'étudier facilement différents scénarios d'organisation et de prévoir avec fiabilité les effectifs en fonction des fluctuations de la charge de travail. Afin d'enrichir cette solution, EUROPORTE a ensuite sollicité EURODECISION pour développer un module de construction et d'optimisation des roulements. En effet, planifier à la main l'enchaînement de journées de service s'avère très complexe : outre le

respect des règles sociales et des accords d'entreprise, il convient de tenir compte des particularités liées à l'activité de fret ferroviaire, tels que l'irrégularité du trafic, la circulation des trains 24h/24 ou encore des lieux de prise de service répartis sur l'ensemble du territoire. Désormais, il ne faut que quelques minutes à l'outil pour proposer un enchaînement optimisé de la quarantaine de journées de service représentant l'activité d'un pool de compétence.

Utilisés au quotidien depuis l'automne 2016 pour orienter des décisions opérationnelles, l'outil de dimensionnement des effectifs et son module d'optimisation des roulements se sont avérés être de réels atouts pour EUROPORTE dont ils ont contribué à accroître la productivité.

GEFCO : REFONTE DU PLAN DE TRANSPORT SANS FERMETURE D'AGENCE

Dans le cadre du plan de redressement de son activité messagerie nationale, GEFCO France, acteur majeur du transport de marchandises, a entrepris de refondre son plan de transport pour réaliser des économies importantes. Le plan de transport existant (900 tractions quotidiennes) était orienté sur la recherche d'optima à l'échelle des 36 agences régionales du groupe, alors qu'une refonte du plan dans sa totalité pouvait permettre d'optimiser rapidement les coûts, les délais et la qualité de service.

Peu convaincu par les logiciels intégrés du marché, GEFCO a cherché un partenaire capable d'adapter ses modèles mathématiques existants aux spécificités de GEFCO et a choisi EURODECISION.

Apports du projet pour GEFCO

- Un plan de transport optimisant coûts, qualité et délai
- Stabilité de l'activité sans fermeture d'agence
- Adhésion des équipes opérationnelles
- GEFCO a gagné en rentabilité, point fondamental pour la pérennité de son activité



ILLUSTRATION DU PROJET

En étroite collaboration avec les équipes terrain, les consultants en mathématiques appliquées d'EURODECISION ont paramétré leur modèle LP-TransportationPlanner pour l'adapter aux spécificités de GEFICO, visant à construire un plan de transport messagerie optimisé en tenant compte de la demande, de la localisation des sites, de leur typologie et de nombreuses contraintes opérationnelles, sans fermeture d'agence.

Un Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD) est ensuite venu compléter le modèle mathématique. Ainsi, les

utilisateurs locaux ont la possibilité d'interagir sur la solution afin de prendre en compte, de manière interactive et en temps réel, les savoir-faire métier des acteurs en région.

Les simulations réalisées ont conforté GEFICO dans la poursuite de son projet de transformation. La conception et la maîtrise des plans de transport et de consignation ont été transférées vers une structure centrale de coordination réseau nouvellement créée : en quelques mois, les économies d'achat transport résultant de la réduction du nombre de camions se chiffraient déjà en millions d'euros par an, et ceci avec une importante augmentation de la qualité.



FOCUS

- Création d'un modèle de données
 - Mise en place
- d'une procédure hebdomadaire de récupération et de traitement des données via une plateforme de data analytics
- Réalisation de vues et de KPI, mis à disposition via la plateforme



Diminution du nombre de camions quotidiens et donc réduction des km parcourus (-11%)



Augmentation de la part du tonnage en 24h (+35%)



Gain financier de 2 M€ sur le composant transport

FL FINANCE (LA BOITE A PIZZA) : UN DATA LAB AU SERVICE DE L'OPTIMISATION COMMERCIALE ET MARKETING

La société holding FL Finance, détentrice des franchises La Boîte à Pizza, compte près de 115 points de vente partout en France. FL Finance souhaitait centraliser l'accès de l'ensemble des données de vente de son réseau afin de pouvoir effectuer de façon automatique des analyses de données issues des caisses. Les objectifs : accroître son chiffre d'affaires et sa marge à travers une relation client quantifiée et mieux comprendre les effets de ses offres et campagnes marketing sur ses ventes afin de réorienter les actions si nécessaire. EURODECISION a proposé à FL Finance de l'accompagner dans la mise en place de son Data Lab orienté Business Analytics Clients, basé sur l'exploitation de la donnée « ticket de caisse ».

Apports du projet pour FL FINANCE

- Analyse des ventes affinée
- Optimisation des actions commerciales et marketing à destination des clients
- Réduction des offres et meilleur ciblage
- Dynamisation du réseau



**EURODECISION-GEFICO :
PROJET FINALISTE DES
PROS DE LA RO 2015**

ILLUSTRATION DU PROJET

Après une première étude de faisabilité, EURODECISION a entamé la récupération des données de caisse hebdomadaire des différents points de vente du réseau auprès du prestataire dédié et travaillé en étroite collaboration avec FL Finance sur la nature des données à analyser et les vues recherchées. Les datas recueillies comprennent de précieuses informations qui sont traitées, filtrées et archivées sur une plateforme de data analytics.

Les modèles de données imaginés par EURODECISION permettent désormais à FL Finance d'obtenir des vues et analyses selon trois typologies bien définies : la vue « client », le type d'achat, la fréquence et la classification du client en fonction des deux critères énoncés ; la vue « offre », grâce à l'analyse des offres promotionnelles permettant de mesurer de l'impact et d'effectuer des recommandations aux franchisés sur les best practices à adopter ; et la vue « produit », un classement des ventes, leur répartition... permettant une analyse des différents produits et de leurs volumes de vente. En s'appuyant sur ces analyses, FL Finance peut désormais affiner ses offres et mettre en place des actions de fidélisation et connaissance client ciblées.



GUROBI OPTIMIZATION

SPÉCIALISTE DE L'ANALYSE PRESCRIPTIVE
Gurobi aide les entreprises à prendre de meilleures décisions.

SITUATION

Nous savons tous à quel point il est pénible de parcourir toutes les allées d'un parking avant de trouver une place libre.

Imaginons maintenant un environnement dans lequel certaines places ne sont pas assez larges pour certains types de voitures, qui est complet la majorité du temps, avec une prévision d'augmentation significative de la fréquentation, et où la création d'une nouvelle place coûte de 5 à 10 millions d'Euros. Remplaçons les voitures par des avions : telle est la situation de l'aéroport de Copenhague en 2010. Le groupe Recherche Opérationnelle de CPH a été chargé de construire un système capable d'optimiser l'utilisation de chaque poste de stationnement d'aéronef, permettant d'augmenter sa capacité tout en limitant les coûts.

ÉLABORATION DU MODÈLE

Traditionnellement, l'évaluation stratégique de la capacité des postes et portes était réalisée du sommet vers la base. Toutefois, ce type d'analyse ignore souvent des détails opérationnels essentiels, susceptibles d'impacter significativement la demande d'un type de stationnement spécifique. Par exemple, en 2010, CPH comptait 7 postes de stationnement de grande taille, assez pour faire face à la demande. Néanmoins, un examen plus attentif a révélé que deux postes seulement pouvaient accueillir le Boeing 777-300ER et le calendrier des vols nécessitait quasi-systématiquement le stationnement simultané de trois aéronefs.

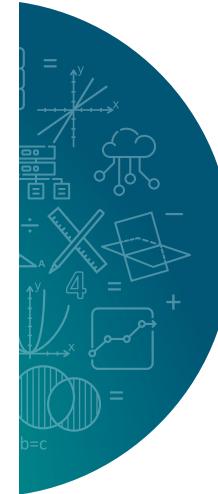
Au terme d'une étude approfondie, et après la prise en compte de l'ensemble des exigences opérationnelles, l'équipe de Recherche Opérationnelle a formulé un modèle d'optimisation pyramidal détaillé. Le modèle utilisait à la fois des contraintes dures (par exemple, certains types d'avions peuvent stationner uniquement sur certains postes) mais aussi des préférences plus souples (ex : certaines compagnies préfèrent être rapprochées en raison du nombre important de correspondances). Le développement de ce modèle mathématique via l'API C++ de Gurobi a duré deux mois.

« Nous n'avons pas eu à nous soucier des algorithmes de résolution. Nous avons transmis les données à Gurobi, qui s'est occupé de tout. À une vitesse imbattable. »

Tor Justesen, Analyste opérationnel

RÉSULTATS

Gurobi a trouvé des solutions pour la version initiale de ce modèle en cinq minutes environ. Le modèle a été décliné dans une version simplifiée, pouvant être résolue en moins de 20 secondes, qui a permis de faire des simulations « what-if » pour analyser les compromis entre les principales options. Au final, les résultats de ce modèle ont permis à l'équipe de recommander un plan plus efficace, qui a conduit à des investissements de plus de 50 millions d'Euros pour la construction de nouveaux postes et de nouvelles portes.



GOOGLE R&D

ROUTAGE / THÉMATIQUE

L'OPTIMISATION DU ROUTAGE DANS STREET-VIEW

Google Street View utilise une flotte de véhicules équipés de caméras pour photographier un maximum de route dans le monde le plus fréquemment possible.

Ce problème de très grande taille assimilé au Chinese Postman Problem est résolu par une recherche locale. Le but est de déterminer les routes journalières pour chaque véhicule de la flotte.

L'optimisation des routes a permis de :

- Réduire le coût d'exploitation en humain et matériel ;
- Couvrir plus fréquemment un nombre plus important de villes ;
- Réduire l'impact environnemental de la flotte de véhicules.



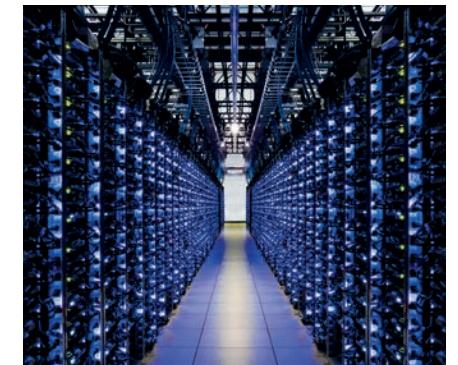
OPTIMISATIONS DANS LES DATACENTERS

Google maintient l'un des plus importants datacenters du monde fournissant les moyens de calcul à de nombreux services Google et aux clients Google Cloud.

Les dépenses annuelles se chiffrent en milliards de dollars. L'efficacité est donc le maître mot.

Fondés sur des problèmes de bin-packing et/ou d'affectation ou des MIPs, nous avons été capable de :

- Réduire les coûts ;
- Accroître la tolérance aux fautes de nos services ;
- Améliorer la vitesse et la flexibilité des déploiements.





HUAWEI TECHNOLOGIES

ÉQUIPEMENTS ET SERVICES TÉLÉCOM

Domaine / Thématique

PROJET DE SOLVER POUR « NETWORK SLICING »

Une tranche de réseau, ou « network slice » en anglais, est un réseau virtuel qui donne l'illusion à un utilisateur d'exploiter son propre réseau physique. Ce découpage en « tranches » des réseaux est considéré comme une composante clé des futurs réseaux 5G pour fournir des services réseau isolés et personnalisés à différentes applications (par exemple, véhicules connectés, usines du futur). Les liens virtuels et les noeuds virtuels sont configurés par un orchestrateur réseau. de véhicules autonomes pour proposer un service de car-sharing en fonction de la demande, en intégrant une multitude de contraintes.



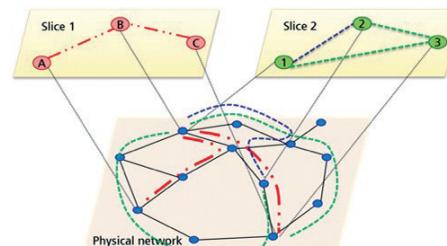
Ce projet a contribué au programme 5G sur lequel Huawei a investi globalement **600 millions**.



10 chercheurs ont contribué à ce « solver » pour network slicing

Nous avons développer un « solver » pour l'orchestrateur permettant :

- La configuration automatique des équipements
- L'optimisation globale de l'infrastructure physique
- La résolution de grandes instances (centaines de noeuds, milliers de liens)



PERSONALISATION DES RÉSEAUX 5G

- ✓ Le véhicule connecté
- ✓ Les usines du future
- ✓ L'Internet des objets
- ✓ La diffusion de contenu



TECHNIQUE UTILISÉE

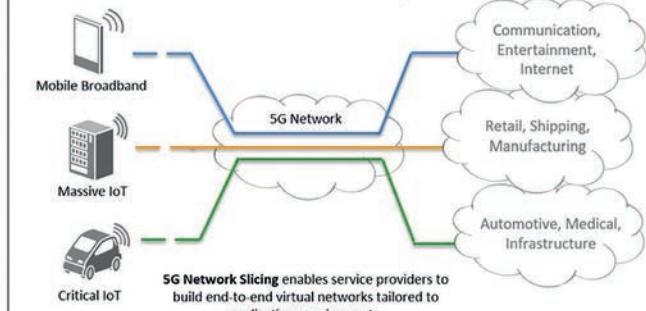
Une des techniques utilisées est la génération de colonnes car elle est particulièrement bien adaptée à la décomposition de grand problème de flots. Nous l'avons donc utilisé largement et optimisé son implémentation pour bénéficier pleinement des architectures de calcul parallèle et tenir des contraintes fortes sur le temps d'exécution.

The 4G Network



4G enables voice, text, and data services, but not the range of use cases that the future requires and 5G will enable. 5G will not only be faster, it will be more flexible.

5G Network Slicing





FOURNISSEUR MONDIAL DE PLATEFORMES
POUR LA DATA SCIENCE ET L'OPTIMISATION.

PLANIFICATION DE LA PRODUCTION DE CONTINENTAL TIRES

Le but du projet livré par IBM à *Continental Tires* était de répondre à l'important challenge de la planification de la production à long et moyen terme. La solution développée par IBM, et reprise par les équipes de *Continental Tires* suite à un transfert de compétences, est basée sur l'offre IBM Decision Optimization dont le moteur CPLEX.

La planification long terme est effectuée au niveau mondial, elle implique de très importants montants (des milliards d'euros en terme de revenu et coûts). Le but principal du management et des équipes de planning était :

- l'augmentation des ventes (par l'allocation optimale de la production à la demande),
- et la réduction des coûts (par le choix optimal des lieux de production pour environ 10 mille produits et une vingtaine de sites de production).

La solution développée inclut des aspects tels que les ressources de production limitées, la prise en compte du réseau de Supply Chain global, des multiples sites de production ainsi que de la liste détaillée des produits et composants. La solution permet aux équipes de planning de créer plusieurs plans optimisés, de les comparer et de réagir efficacement aux événements imprévus et aléas.

Continental Tires produit des pneus pour toutes sortes de véhicules, voitures, camions, motos, vélos. La fabrication consiste en une combinaison de processus chimiques et tâches de production discrètes. Au total une centaine d'étapes de production sont nécessaires pour obtenir un produit final.

Les produits peuvent être fabriqués sur plusieurs sites de production, permettant de réaffecter la production entre sites si besoin. Ils sont également très divers, allant de produits à grands volumes et faibles marges, à des produits à faibles volumes et marges élevées. Les ventes varient aussi d'un marché à l'autre, allant de prévisions de vente très saisonnières dans certains marchés, à des ventes très stables dans d'autres. Au niveau de la production, quelques matériaux utilisés ont des délais de livraison très longs et ne peuvent être fournis que par un nombre limité de fournisseurs dans le monde. Certains des produits intermédiaires peuvent être stockés pendant de longues durées, d'autres doivent être très rapidement utilisés.

Le partenariat entre IBM et *Continental* a permis de modéliser la complexité spécifique de la Supply Chain et de la production afin d'obtenir un outil stratégique de planification long et moyen terme.

La planification long terme sur un horizon temporel de 1 à 3 ans harmonise la prise de décision impliquant plusieurs divisions business. Des scénarios qui permettent de décider quel produit produire, dans quelle usine, et en quelles quantités sont générés automatiquement en tenant compte de la demande et des coûts logistiques. Les résultats sont ensuite utilisés pour la planification moyen terme et la planification détaillée des capacités au niveau des usines.

La planification à moyen terme (ou master planning), effectuée toutes les semaines sur un horizon de 12 à 18 mois prend également en considération le réseau global mais avec un niveau de détail plus élevé.

Pour chaque usine, un modèle d'optimisation qui rééquilibre les capacités est utilisé pour simuler la production locale et signaler les goulots d'étranglement potentiels. Cette étape inclut les produits affectés à l'usine, les ressources de production de l'usine et les allocations de personnel nécessaire également. Ceci permet de proposer des solutions potentielles et d'étudier des scénarios tels que l'augmentation de la capacité de production qui permettrait de satisfaire la demande.

Le profit et les marges ont été significativement améliorés grâce à une Supply Chain optimisée et une meilleure satisfaction de la demande. L'optimisation des stocks a permis de réduire les besoins en capitaux, les scénarios permettant d'atteindre un bon équilibre entre la réduction des coûts de production (par l'exécution de batchs de production longs par exemple), et les coûts de stockage (qui peuvent être élevés pour de longs batchs). Aussi, produire en étant proche du client peut être plus coûteux, mais aussi réduire les coûts de transport et délais de livraison, un équilibre étant également nécessaire pour cet aspect.

La solution a été déployée globalement par *Continental* en 2 ans et a induit un changement de méthodes de planning. Elle est bien acceptée et utilisée par une centaine d'utilisateurs dans différentes organisations dont la production, la chaîne logistique et l'approvisionnement. A chaque étape du planning, les utilisateurs peuvent adapter les solutions des scénarios manuellement en utilisant une interface graphique spécifique. L'intégration et l'échange de données ont également amélioré l'aspect collaboratif pour de meilleures prises de décision et arbitrages. Il a aussi été estimé que les utilisateurs bénéficiaient de 30% de réduction sur les activités de planning et qu'ils évaluaient 30 fois plus de scénarios.



A noter également, la création récente de l'IBM Q Hub qui est un projet de partenariat académique avec l'université de Montpellier pour accélérer le calcul quantique avec le soutien de la région Occitanie, ainsi que l'inauguration récente, en 2019, des locaux IBM au sein du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay avec l'annonce de plusieurs programmes de R&D en Intelligence Artificielle et quantique, d'ambition mondiale, qui seront développés et gérés en France.



LOCALSOLVER

OPTIMIZATION SOLVER & SERVICES

Supply Chain, Publicité, Télécom, Énergie, Banque

PROJETS DE RO

PLANIFICATION DE CAMPAGNES PUBLICITAIRES TV

En 2012, la chaîne TF1 lançait une nouvelle offre commerciale consistant à vendre des packages de spots publicitaires, et pas seulement des spots de façon individuelle. Avec cette offre, TF1 devient responsable de l'atteinte des objectifs des campagnes publicitaires de ses clients, tout en lui permettant d'optimiser de façon globale le placement des spots au sein de la grille des écrans. L'équipe de LocalSolver a développé un logiciel sur mesure pour résoudre ce problème : le moteur de calcul, entièrement fondé sur notre solveur générique LocalSolver, réoptimise chaque nuit le placement de 100 000 spots publicitaires.

Grâce à ce moteur d'optimisation sur mesure fondé sur LocalSolver :

- TF1 automatise son processus de placement de spots ;
- TF1 optimise son revenu jusqu'à la diffusion ;
- TF1 optimise la qualité de service des clients jusqu'à la diffusion.

TF1 estime à 20 M€ le revenu annuel récurrent additionnel généré grâce au logiciel. Développé en mode agile en 6 mois, il est exploité par TF1 depuis 2012.

OPTIMISATION DE LA SUPPLY CHAIN

En 2015, Pasco Shikishima, première entreprise de boulangerie industrielle au Japon (1.2 Mds d'euros de chiffre d'affaires, 4 000 employés), a choisi LocalSolver pour optimiser sa chaîne logistique. Pasco possède 15 usines au Japon et plus de 100 centres de distribution. L'entreprise commercialise plus de 1 000 produits. Chaque jour sont exécutées près d'un million de commandes dans les usines de Pasco. Pour chaque ordre, Pasco doit décider où et quand le produire. De plus, Pasco doit décider où s'approvisionner en matières premières et par quels itinéraires desservir les centres de distribution. L'objectif est de minimiser les coûts de production et de distribution sur plusieurs jours, tout en respectant les capacités.

LOCALSOLVER : UN SOLVEUR D'OPTIMISATION GÉNÉRIQUE



Le moteur de calcul développé pour ce projet s'appuie sur LocalSolver. Une fois le problème modélisé sous forme mathématique, LocalSolver le résout directement. Déléguer ainsi la résolution algorithmique du problème à LocalSolver permet de réduire de **50 % les coûts** de développement et de maintenance du moteur.

OPTIMISATION DE CRÉDITS

IMMOBILIERS

En 2015, IT-CE, regroupement informatique et technologies des Caisses d'Epargne, a confié à l'équipe de LocalSolver le développement d'un nouveau moteur d'optimisation de solutions de financement immobilier. L'objectif de cette refonte était d'élargir les capacités fonctionnelles du moteur actuel, de réduire ses temps de réponse, tout en facilitant ses évolutions futures et sa maintenance. Le nouveau moteur d'optimisation, fondé sur le composant mathématique LocalSolver, est en production depuis 2016 au sein des 5 000 agences des Caisses d'Epargne.

Un nouveau moteur d'optimisation sur mesure fondé sur LocalSolver :

- 30 000 utilisateurs, au sein 5 000 agences, servant 25 millions de clients
- Des temps de réponse de quelques secondes
- Des solutions de financement jusqu'à 10 % moins chères pour les clients.

Du côté de LocalSolver, le projet a mobilisé deux experts en optimisation pendant près d'un an. Après une phase d'interactions agiles avec un panel d'utilisateurs des Caisses d'Epargne puis une phase d'intégration et de test intensif par les équipes d'IT-CE, le moteur est progressivement entré en exploitation dans les agences du réseau bancaire sur 2016 et 2017. Depuis, l'équipe de LocalSolver assure les évolutions, la maintenance et le support du moteur d'optimisation.



L'équipe s'est distinguée à de nombreuses reprises dans des compétitions internationales de RO, dont le **Challenge ROADEF**. Par ailleurs, Frédéric Gardi, directeur associé de LocalSolver, a présidé la ROADEF en 2014 et 2015.

30 000 : le nombre d'utilisateurs du moteur d'optimisation de crédits immobiliers.

« Nous avons développé notre modèle d'optimisation en quelques jours de travail. Bien que le nombre de variables soit gigantesque, LocalSolver fournit en quelques minutes seulement des solutions considérées comme excellentes par les planificateurs de Pasco. Nous ne pouvions pas imaginer de tels résultats en début de projet, mais maintenant, nous savons qu'avec LocalSolver, c'est possible ! »

Témoignage
de **M. Shinichi Kuroda**,
directeur du projet
pour Pasco Shikishima





MAPOTEMPO

L'OPTIMISATION DE TOURNÉES ACCESSIBLE
À TOUS

Clustering et Problèmes de tournées de véhicules

Notre prototype actuel utilise en premier lieu des données topographiques, à partir de données cartographiques en OpenAccess, afin de diviser l'espace en grands secteurs. Ensuite les points sont groupés par proximité afin d'obtenir des groupes de points qui pourront être manipulés et échangés entre les tournées.

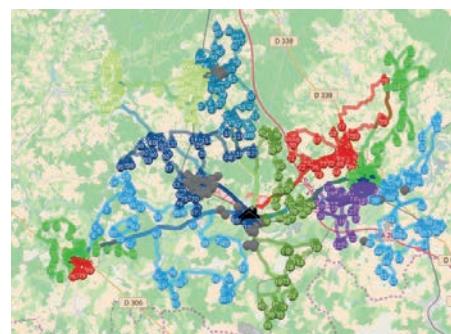
PROJET 1 : TOURNÉES ET CLUSTERING

Fin 2015, nous sommes rentrés en contact avec l'une des principales presse régionale française sur plusieurs problématiques d'optimisation de tournées. L'une des demandes portait sur des tournées de livraison en boucle sur des secteurs géographiques distincts. Plus récemment nous avons reçu une demande similaire de l'un des principaux acteurs de la grande distribution. Ici les tournées partent de dépôts et le partitionnement de l'espace n'est pas strict, mais l'objectif est de conserver une dimension de sectorisation des tournées.

Ces deux projets nous amènent à nous poser la question suivante :

Comment traiter de grands volumes de données et obtenir des solutions de bonne qualité dans un temps raisonnable ?

- Un projet de thèse portant sur la combinaison Clustering/VRP
- Une méthode de résolution générique pour les problèmes de grande taille



L'intérêt d'acteurs majeurs de la logistique à travers ce projet nous conforte dans notre volonté de monter en compétence sur ces sujets.

PROJET 2 : TOURNÉES PÉRIODIQUES

Fin 2016, un dialogue s'est instauré avec la branche française de l'un des principaux éditeur de revues de jeux européens, non pas pour organiser la distribution de ses revues, mais afin de réorganiser les tournées de ses commerciaux pour la prise de commande auprès de points de presse. Ces tournées sont à planifier sur un horizon de 4 mois avec une périodicité dépendante du type de point de vente. Dans le courant de l'année, nous avons également reçu des demandes des principales entreprises de service et de livraison d'hygiène professionnelle sur ces mêmes problématiques.

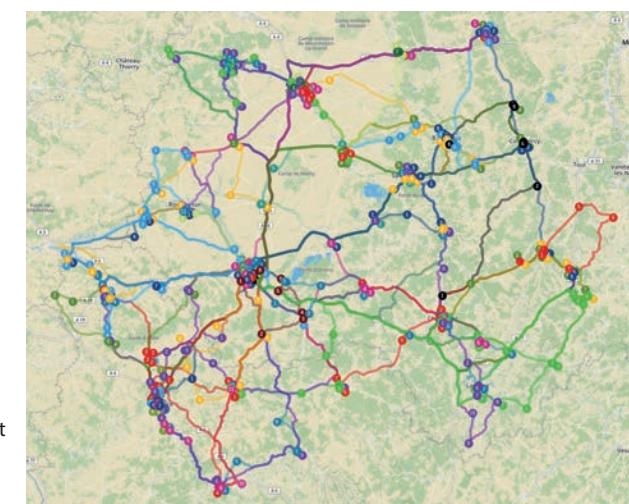
Les avancées et projets :

- Amélioration de la prise en charge des tournées sur plusieurs jours sur Mapotempo Web
- Ajout d'une formulation spécifique aux optimisations périodiques dans notre API
- Le projet d'une interface Web dédiée à ce type de problématiques

Ces tournées périodiques et la mise en place de solutions pour y répondre nous permettent d'adresser un nouveau marché.



Trophée des Étoiles de l'économie 2016
dans la catégorie « création d'entreprise »





ORANGE

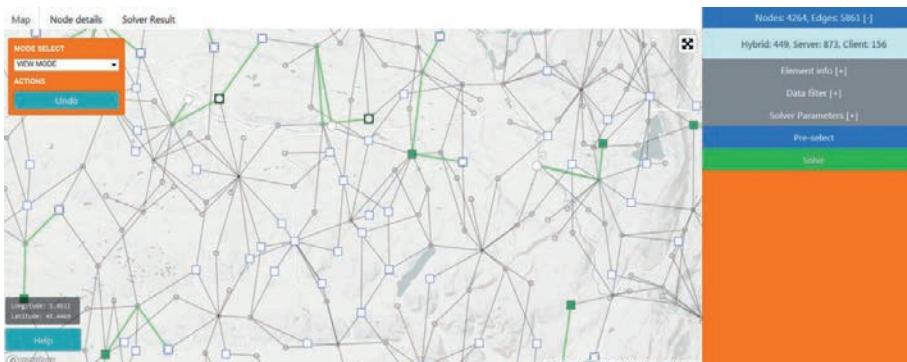
OPÉRATEUR INTERNATIONAL DE SERVICES
DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Domaine / Thématique

PROJETS DE RO

WEB-R : UN OUTIL GÉNÉRIQUE POUR LES PROBLÈMES DE PLACEMENT OPTIMAL

EWeb-r est un outil générique développé à Orange, pour résoudre les problèmes de placement (la famille des Facility Location Problems, dont le problème de Fermat-Weber est une des versions les plus simples). Web-r permet, par exemple, de déterminer où déployer des fonctions virtuelles dans un réseau à coût minimum, ou de minimiser le nombre d'équipements nécessaires pour raccorder les clients tout en améliorant la qualité de service. L'outil est générique dans la mesure où il permet de traiter ce type de problème quel que soit le contexte particulier où il apparaît, et donc, en permettant d'adapter finement le modèle et l'objectif à atteindre à chaque cas d'utilisation.



Le projet GPON OPTIMIZER a gagné le prix de l'innovation interne Orange en 2012 et été finaliste du concours « Les Pros de la RO » en 2015.

L'outil Web-r a déjà été décliné sur plusieurs cas d'usage :

- Placement de centres d'intervention d'urgence sur un territoire
- Placement de contrôleurs dans un réseau virtuelisé
- Placement de contenus dans un réseau de data-center

GPON OPTIMIZER : COMMENT OPTIMISER LES COUTS D'INVESTISSEMENTS DE NOS RÉSEAUX FIBER TO THE HOME

Les besoins en débit toujours plus importants des utilisateurs rendent nécessaire l'évolution des infrastructures de télécommunication. Orange, comme la plupart des opérateurs dans le monde, a fait le choix de remplacer à terme son réseau dit « d'accès », actuellement composé de paires de cuivre par un réseau de fibre optique (Fiber To The Home). Les enjeux financiers associés un tel déploiement sont estimés à plusieurs dizaines de milliards d'euros pour un pays comme la France, et les enjeux en termes de qualité de services sont tout aussi importants. GPON OPTIMIZER est un outil de conception et chiffrage automatique des plans de déploiement terrain FTTH de coût minimum. Cet outil opérationnel, aujourd'hui intégré dans le système d'information de la filiale France du groupe Orange, intègre ou exploite des résultats de recherche et développement en Recherche Opérationnelle.

Apports du projet pour l'entreprise :

- Réduction des coûts d'investissements de près d'une dizaine de pourcents par rapport aux solutions obtenues à la main par les concepteurs de plans de déploiement.
- Diminution de moitié du temps nécessaire à la conception des plans de déploiement.

Projet débuté en 2009 et ayant impliqué une dizaine de contributeurs de profils différents (dont plusieurs thèses CIFRE).

UNE BOÎTE À Outils D'OPTIMISATION COMBINATOIRE

Web-r permet aux opérationnels du monde des télécoms de formuler leur problème en faisant une sélection parmi un ensemble de règles métiers. Le problème RO est ensuite construit automatiquement et résolu par une méthodologie adaptée.



Haut : shapefile de l'infrastructure de génie civil de la ville d'Arles.

Bas : plan de déploiement proposé par GPON OPTIMIZER.



RECOMMERCE

OPTIMISATION D'UNE CHAÎNE DE RECONDITIONNEMENT DE SMARTPHONES

PROJETS DE RO CHEZ RECOMMERCE

SIMULATEUR DE PRICING ACHAT

Ce projet d'Aide à la Décision a permis de mettre en place un outil en mode SAAS utilisé par la Direction Commerciale de Recommerce chaque semaine, afin de fixer les prix de rachat de chaque smartphone d'occasion pour la semaine à venir.

Cet outil fait appel à des notions de ROAD :

- Prévisions** : l'outil fournit une prévision de la marge espérée qui sera réalisée en fonction du prix établi par l'utilisateur. Ce prix est estimé à partir de statistiques passées et de calcul du risque.

- Matching Sémantique** : les données brutes des concurrents sont récupérées automatiquement puis matchées avec notre référentiel afin de les agréger pour que l'utilisateur puisse les retrouver dans son outil

- Yield Management** : en fonction du niveau de prix, on estime l'élasticité prix qui va influencer le volume collecté en fonction du prix fixé afin de trouver le bon niveau de prix entre objectif d'achat, niveau de marge cible et prix marché des concurrents.

Cet outil est utilisé chaque semaine par chacun des Key Account Managers des partenaires qui soumettent à la fin de leur simulation le résultat de leur scénario de Pricing à la Direction Financière. Celle-ci valide la stratégie de Pricing, tout en s'assurant que les objectifs sont atteints dans le modèle d'optimisation.

MOTEUR DE PRÉVISIONS DE COLLECTE

Prévoir les volumes de smartphones qui seront collectés dans les semaines à venir est un enjeu crucial pour l'activité de Recommerce car cela permet de mieux anticiper ensuite les volumes et la qualité des produits qui seront à revendre par la direction commerciale, donc un enjeu direct sur la performance de la société.

Pour calculer ces prévisions, nous faisons appel à des méthodes classiques de Machine Learning. Plus le temps passe, plus la connaissance d'un canal de collecte d'un produit dans un état donné s'améliore par apprentissage. Nous sélectionnons une liste d'indicatrices qui influencent cette collecte : données calendaires, évènements marché, animation marketing, ...

Comment et où sont utilisées ces données de prévisions :

- Simulation de pricing Achat** : en entrée du simulateur ;

- Tableaux de bord commerciaux** : utiles pour communiquer ;

- Moteur de prévisions d'arrivées en ateliers** : en entrée du moteur de prévisions suivant, permettant d'anticiper les volumes en ateliers.

Ce projet de Recherche Appliquée a permis à Recommerce de se doter d'un outil parfaitement adapté à son métier et à sa chaîne de reverse logistique complexe, réduisant ainsi le taux d'erreur sur

les prévisions calculées. Le calcul des prévisions se fait de manière hebdomadaire et une boucle d'asservissement permet de corriger les paramètres.



- **Grand prix des entreprises de croissance 2015**
- **Prix innovation MEDPI 2014**
- **2^e prix Open Cleantech France 2011.**



50 000

C'est le nombre de **produits reconditionnés par mois** par Recommerce grâce à ses outils de pilotage Stock & Prix.



LA R.O.A.D AU RECOMMERCE LAB



La Recherche Opérationnelle chez Recommerce s'appuie sur une multitude de données business et des données marché qui sont récupérées, rangées, structurées, puis mises à disposition, analysées pour alimenter les outils d'optimisation et de simulation. Une équipe de Data Engineers basée à Grenoble travaille main dans la main avec l'équipe de R.O.



RENAULT

GROUPE AUTOMOBILE INTERNATIONAL
Logistique / Transport et chargement conteneurs

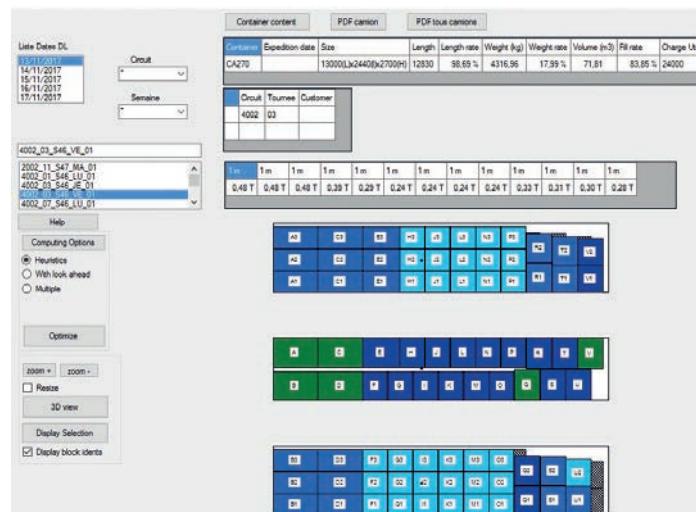
PROJETS DE RO :

OPTIMISATION DES CAMIONS ET CONTENEURS DES PLATEFORMES LOGISTIQUES

Les plateformes logistiques à l'international reconduisent et expédient par conteneurs maritimes des pièces livrées par les fournisseurs par camions. Le projet a consisté à optimiser les chargements des camions d'approvisionnement (notamment en réordonnant les livraisons) et les chargements des conteneurs en expédition (avec comme levier l'anticipation des livraisons de la semaine suivante). Les outils ont mis en œuvre la programmation linéaire en nombres entiers, des heuristiques, les algorithmes de BestFit 2D et la recherche locale.

Apports du projet :

- Diminution du nombre de camions d'approvisionnement (-20% sur la plateforme logistique pilote)
- Lissage de l'activité de la plateforme logistique, qui était erratique d'une journée à l'autre
- Amélioration du taux de remplissage des conteneurs



Plan de chargement d'un camion

ENGAGEMENT D'OPÉRATEURS SUR UNE CHAÎNE DE PEINTURE

Dans l'atelier cire de la chaîne de peinture, les opérateurs doivent obturer des orifices en dessous du véhicule. Il s'agit de minimiser le nombre d'opérateurs nécessaires pour obturer tous les orifices dans le temps de production dévolu à chaque véhicule, puis de minimiser la non valeur ajoutée (déplacements, changements d'outils, etc.). L'outil a mis en œuvre la génération de colonnes.

Apports du projet :

- Gain d'un opérateur sur la chaîne peinture de l'usine de Bursa (Turquie)
- Possibilité pour le chef d'atelier de simuler différentes configurations d'opérateurs, et par conséquent d'adapter les configurations opérateur plus fréquemment.

Pour la petite histoire, grâce à cet outil, l'usine de Bursa a gagné un prix récompensant la meilleure application d'optimisation à la conférence nationale turque de Recherche Opérationnelle à Istanbul.



Trajectoires des opérateurs en-dessous des véhicules

CHALLENGE ESICUP : Une collaboration réussie académiques-industriel

Nous avons organisé un challenge sur l'optimisation du chargement de conteneurs, réunissant 17 équipes universitaires à travers le monde, puis adapté l'algorithme de l'équipe vainqueur (O. Briant et D. Naddef), qui a donné des résultats remarquables. Une grande réussite !



UN DES LEADERS MONDIAUX DE LA MOBILITÉ
Mobilité / Transport

PROJET DE RO

STABILITÉ DE L'EXPLOITATION EN ZONE DENSE

L'exploitation ferroviaire en zone dense, typiquement sur les lignes Transilien en Ile de France, est soumise à une hausse importante de la fréquentation (+30% en 15 ans). En raison de la densité des circulations, des perturbations mineures causent rapidement des retards, qui se propagent et s'amplifient le long des lignes, déstabilisant le système. Pour éviter ces phénomènes, les acteurs opérationnels ont à disposition divers leviers d'action. L'objectif du projet est de maintenir le système ferroviaire dans sa zone de stabilité, à travers un outil de replanification temps réel.

Plusieurs techniques de RO ont été expérimentées pour comparer leurs performances et évaluer la faisabilité technique d'approches de résolution suffisamment performantes pour un usage temps réel, face à des problèmes par nature très combinatoires. Une preuve de concept a été mise au point fin 2017 sous la forme d'un prototype logiciel connecté au flux de données de production, mis à disposition des responsables des centres opérationnels. L'industrialisation est en cours, avec à la clé des enjeux importants en termes de qualité de service pour les voyageurs.

Ces travaux sont issus d'une thèse CIFRE avec l'Ecole des Mines de St Etienne, dans le cadre d'un projet mené par l'équipe MOD avec les équipes Transilien.

APPROCHE DE « GÉNÉRATION-ET-SÉLECTION »

PLAISANCE traite le problème de construction des Journées de Service (JS) des conducteurs par une approche de Génération-et-Sélection.

Son originalité est de traiter, dès la phase de Génération, les Repos Hors Résidence, qui sont une particularité de la réglementation du travail des conducteurs SNCF.

Cette particularité peut rendre inefficaces certaines approches issues d'autres domaines du transport (Bus par exemple).



L'expertise des spécialistes en RO est reconnue au sein du groupe SNCF et mise à contribution pour conseiller les métiers lors des phases achat d'outils progiciels dans le cadre de projets de grande ampleur au cœur de la transformation de SNCF.



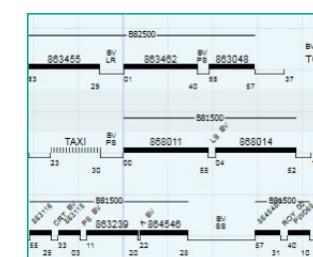
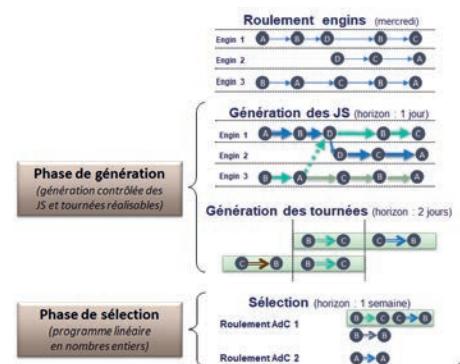
3,2 millions
de voyageurs par jour
sur le réseau Transilien

PLAISANCE

PLAISANCE est un outil d'aide à la conception des roulements agents de conduite (100 000 trains/semaine, 14 000 agents) chez SNCF, tenant compte de la réglementation du travail, des règles sociales et sécuritaires, des contraintes géographiques locales, ou encore des différentes résidences réparties sur l'ensemble du territoire.

Le projet a démarré par une phase de recherche menée à partir de 2013 dans l'équipe Modélisation et Optimisation de la Décision, à SNCF Innovation & Recherche, puis a été industrialisé et intégré dans le Système d'Information par l'équipe DSI ROAD en 2016/2017.

L'application PLAISANCE, utilisée au sein des activités TER et Transilien, permet aujourd'hui aux chargés d'étude d'explorer rapidement différents scénarios et hypothèses d'organisation pour anticiper les besoins des années futures. Notons que ces acteurs métier ont été intégrés dès le lancement du projet, et fortement sollicités tout au long des travaux. Leur apport constitue un facteur clef de réussite, et la trajectoire de PLAISANCE, en tant qu'outil industriel d'aide à la décision, ne s'arrête pas là : cette collaboration gagnant-gagnant avec le métier va se poursuivre pour enrichir fonctionnellement l'application et améliorer ses performances.



Visualisation des JS sélectionnées dans l'outil interne de conception des roulements conducteurs

FLOW : OPTIMISER LES ACTIFS PHYSIQUES ET CONTRACTUELS DE LA CHAÎNE DU GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ (GNL) DE TOTAL

Lors de la première édition du Livre Blanc de la RO, le domaine du GNL avait déjà été abordé, avec la présentation d'un logiciel de gestion optimale d'un terminal méthanier. Cette fois-ci, nous présentons un outil permettant d'optimiser un portefeuille d'actifs GNL : contrats d'achat et de vente aux spécificités très variées, flotte hétérogène de navires méthaniers, droits d'accès dans les terminaux de déchargement.

La BU GNL hébergée dans la branche « Gas, Renewables & Power » du groupe Total, s'occupe des activités en lien avec le GNL, de l'amont à l'aval. Elle comprend notamment un département dédié au trading et à la gestion économique et physique des actifs de Total, au sein duquel une équipe est en charge d'optimiser ce portefeuille. C'est dans cette équipe, au cœur de l'activité opérationnelle, qu'a émergé le logiciel FLOW, grâce d'une part à une connaissance parfaite des enjeux du métier du GNL, et d'autre part, à la présence d'une sensibilité certaine à la Recherche Opérationnelle et à l'existence de cette compétence.

Qu'est-ce que le GNL et quelles sont ses spécificités ?

Dans les conditions normales de pression et de température, le gaz naturel se trouve sous forme gazeuse. Lorsqu'il est refroidi ($\sim -162^{\circ}\text{C}$), il passe à l'état liquide. Sous cette forme, son volume est 600 fois moindre qu'à l'état gazeux. Le gaz na-

turel ainsi liquéfié peut alors être transporté par voie maritime à l'aide de méthaniers qui peuvent acheminer jusqu'à 260 000 m³ de GNL. La taille moyenne d'un navire de la flotte de Total est plutôt de 160 000 m³, ce qui représente autour d'1 TWh d'énergie, soit l'équivalent de la consommation électrique annuelle de 200 000 foyers français. Le GNL traverse donc les océans, et peut ainsi relier des points de production et consommation très éloignés. La vitesse d'un méthanier se situe entre 10 et 18 noeuds. A 13 noeuds, il parcourt le trajet Egypte-Japon en moins d'un mois s'il passe par le canal de Suez ; s'il contourne l'Afrique par le cap de Bonne Espérance (ce qui peut parfois être plus intéressant logistiquement et/ou économiquement), cela lui prendra environ 50 jours.



L'Arctic Lady (en cours de déchargement au terminal de Fos Cavaou), dont Total est affréteur, est un méthanier de 147 200 m³

Ajoutons enfin qu'au vu des cours actuels, la cargaison d'un navire de 160 000 m³ vaut entre 20 et 25 millions de dollars, l'enjeu financier est donc de taille et il est nécessaire d'optimiser finement et conjointement l'ensemble des actifs du portefeuille en considérant toutes les options contractuelles et logistiques.



La voie maritime offre plusieurs routes possibles pour une cargaison de GNL

L'OPTIMISATION COURT TERME DU PORTEFEUILLE GNL DE TOTAL

Dans le monde du GNL, Total occupe la 2^{ème} place en matière de taille de portefeuille, il possède et gère un portefeuille situé entre l'amont (extraction et liquéfaction du gaz) et l'aval (vente aux clients finaux principalement au niveau des terminaux méthaniers). Un tel portefeuille se compose comme suit :

Des contrats d'achat et de vente de plus ou moins long terme (d'une cargaison ponctuelle à des durées supérieures à 20 ans) présentant chacun des conditions d'application qui lui sont propres :

- volume annuel, volume d'une cargaison ;

- ports de chargement ou déchargement ;
- fenêtre temporelle limitée pour charger ou décharger une cargaison ;
- prix dépendant ou non de la source ou de la destination ;
- inter-compatibilité entre contrats, etc.

Une flotte de navires permettant de charger, transporter, parfois stocker, parfois regazifier (si le navire est équipé), décharger le GNL ; chaque navire présente des caractéristiques spécifiques :

- volume utile
- type et quantité de fuel consommé
- vitesse, etc.
- des droits d'accès dans les terminaux méthaniers pour les zones où le marché aval doit être impérativement approvisionné.

En outre, pour opérer physiquement ce portefeuille, toutes les spécificités et contraintes du commerce maritime s'appliquent : réservation et paiement de droits d'accès aux ports et au passage des canaux, respect des réglementations applicables aux équipages et dans chaque pays, assurance et contrôle technique des navires, etc. Enfin, la plupart des prix d'achat et de vente étant indexés sur le prix des commodities énergétiques (pétrole et gaz essentiellement), ils sont soumis à la même volatilité et exposent les marges à un risque de marché qui ne peut être ignoré.



Dans un contexte économique toujours plus incertain, Total se doit de rechercher toutes les opportunités d'optimisation afin de maximiser la valeur de son portefeuille en minimisant son risque, et rester compétitif dans un marché où le trading de très court terme occupe de plus en plus de place. Au niveau opérationnel, les équipes s'intéressent à un horizon allant de 3 à 6 mois, au pas de temps journalier. Le nombre de cargaisons en jeu s'élève alors à une centaine, pour une flotte d'une quinzaine de navires.

Le logiciel FLOW : un modèle de programmation mathématique performant au service de la planification logistique du GNL, valorisé par une interface utilisateur sur mesure

Ce n'est qu'il y a 3 ans qu'une solution logicielle efficace basée sur des techniques de Recherche

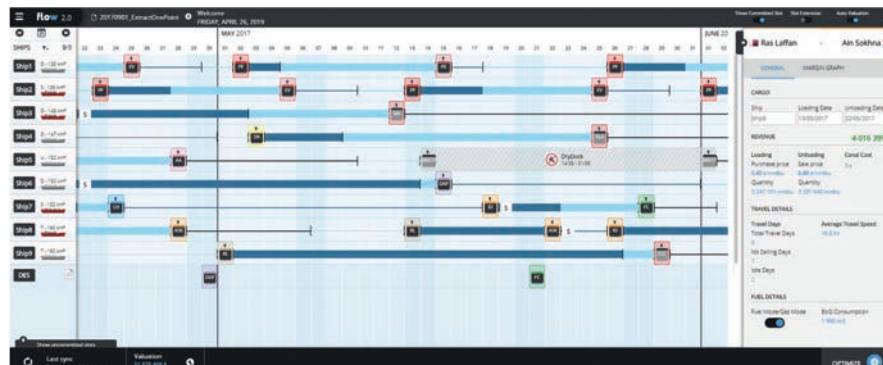
Opérationnelle a commencé à voir le jour. Au cœur de l'équipe « Portfolio Management », les contours d'un prototype ont pu être tracés grâce à l'existence de la compétence RO/développement informatique, prototype dont les fonctionnalités répondaient exactement au besoin métier, puisque son concepteur en était lui-même l'utilisateur.

Problème résolu : quel navire charge quelle cargaison, dans quel port, à quelle date pour satisfaire quelle demande, dans quel port, à quelle date, et quelle route emprunte-t-il ?

Au niveau du cœur de calcul, un prétraitement astucieux permet d'éliminer en amont un grand nombre de voyages sous-optimaux ou impossibles, et de prendre des décisions localement optimales et dont l'approximation résultante est acceptable d'un point de vue opérationnel. Un modèle de programmation mathématique en variables binaires sous contraintes est ensuite

résolu pour déterminer le programme optimal des navires de la flotte, c'est-à-dire, pour chacun d'eux, la tournée optimale. Le problème complet est résolu en quelques minutes (MIP à l'optimum par un solveur gratuit ou commercial). La parallélisation de la phase de prétraitement (qui était auparavant la plus longue) a d'ailleurs permis une réduction non-négligeable du temps de calcul initial.

En ce qui concerne l'interface homme/machine, une version utilisant des technologies web (React) a été développée l'an dernier (une première version « maison » a été utilisée pendant 2 ans et demi) et s'appuie non-seulement sur les fonctionnalités du cœur de calcul, mais aussi sur une représentation du programme des navires/cargaisons intuitive pour les utilisateurs. D'autres outils de gestion du programme logistique sont utilisés quotidiennement par les équipes de la BU GNL et, il était donc important de se calquer sur cet existant afin de capitaliser et profiter des réflexes opérationnels de chacun. L'interface offre, entre autres fonctionnalités, la possibilité de faire des modifications manuelles du programme et d'observer l'impact d'un changement sur la valorisation économique du portefeuille, de fixer des décisions, de relancer une optimisation, etc.



Interface utilisateur de FLOW :
logiciel d'optimisation court-terme du portefeuille GNL de Total
(1 ligne = 1 navire, 1 colonne = 1 jour, 1 rectangle bleu = 1 cargaison)

INDUSTRIALISATION, UTILISATION ET AVANTAGES COMPÉTITIFS

Le processus d'industrialisation du prototype a eu lieu au cours de l'année 2016. Depuis, FLOW évolue très fréquemment et est utilisé quotidiennement par les gestionnaires de portefeuille court-terme. Chaque opportunité d'optimisation détectée améliore la marge de plusieurs centaines de milliers de dollars. Toutes ne sont pas toujours réalisables car certaines contraintes, notamment physiques, ne peuvent être prises en compte dans le modèle. Cependant, l'utilisation de FLOW a déjà permis d'implémenter des optimisations, parfois non-intuitives, mais générant une meilleure marge. Le retour sur investissement a été réalisé en l'espace de quelques mois d'utilisation.



THE ENHANCED FORECASTING
AND REPLENISHMENT
Machine Learning / Prévisions

PROJET DE RO

COMMANDES OPTIMALES POUR LA SUPPLY CHAIN

La stratégie de commande de marchandises au sein de la supply chain peut être formulée comme un problème d'optimisation. Le grand nombre de variables décisionnelles et de contraintes physiques, ainsi que les multiples objectifs contradictoires rendent sa résolution difficile. Un problème à un niveau de distribution peut être formulé comme un problème de sac à dos, qui est NP-dur et de complexité $O(wN)$, tandis qu'un problème multi-niveaux est plus complexe car les décisions de commande peuvent être interdépendantes.

Les principaux objectifs de recherche de ce projet incluent :

- 1) la mise en œuvre d'algorithmes analytiques ou basés sur des méta-heuristiques ;
- 2) l'évaluation des performances dans le cadre des problèmes multi-objectif.

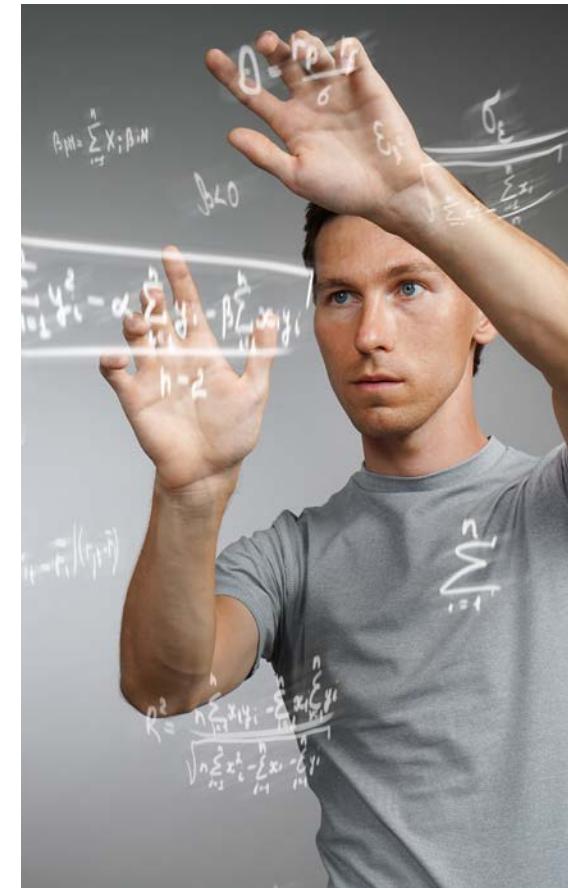


PLANIFICATION DES ORDRES PROMOTIONNELS A L'AIDE DE LA TECHNIQUE D'OPTIMISATION MULTI-OBJECTIFS

Lors d'une commande, la quantité peut varier considérablement suivant qu'il s'agisse d'une commande pour un événement promotionnel ou pour des ventes dites régulières.

Par ailleurs, le packaging personnalisé des produits lors d'une promotion rend le processus de commande complexe. Dans ce projet, nous visons à trouver la quantité optimale de commande pour les supermarchés ou hypermarchés en tenant compte des événements promotionnels à venir et des contraintes d'emballages. Nous résolvons les problèmes d'optimisation des reliquats de stocks, de pénurie et d'autres objectifs potentiellement contradictoires.

Pour résoudre ce problème complexe, nous comparons les approches déterministes et probabilistes des prévisions. Les résultats montrent que sous le même niveau de stocks résiduels, le modèle de prévision probabiliste des ventes se traduit par une perte de ventes de 12 à 59 % inférieure à celle du modèle déterministe.





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 <https://www.informs.org/> proposé par **INFORMS** (The Institute for Operations Research and the Management Sciences). 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.

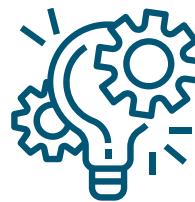
Des prix remis annuellement par INFORMS comme par EURO (l'association des sociétés européennes de RO) viennent chaque année récompenser des applications pratiques de la Recherche Opérationnelle dans l'industrie et sont autant de preuves du gisement d'efficacité que ces méthodes apportent aux entreprises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

Le lecteur intéressé par la mise en œuvre de ces outils dans son entreprise pourra faire appel aux sociétés 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.

LA RECHERCHE, L'ENSEIGNEMENT ET LES INSTITUTIONS



L'enseignement de la Recherche Opérationnelle a une longue histoire en France et aucune grande université de province ou d'Ile-de-France n'a fait l'impasse sur ce domaine très appliquée des mathématiques. Le site de la ROADEF recense plusieurs établissements où l'implantation de la discipline est très visible.

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 il y a quelques années dénombre près d'une centaine de laboratoires ou équipes de recherche en relation avec cette discipline dont une dizaine hors Hexagone (Belgique, Suisse...).

La population recensée compte près de 1 400 membres dont un tiers de doctorants. Ces équipes se répartissent en deux catégories :

- les académiques, universités, écoles d'ingénieur ou de commerce, unités de recherche institutionnelles (CNRS, INRIA...),
- les équipes industrielles (sociétés de service, industries...).

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

L'encadrement des travaux de recherche s'effectue au sein des équipes de type « académique » ou « industriel ». Plus précisément, on identifie trois classes de doctorants en fonction du type de financement :

- partenariats industriels (CIFRE, contrats)
- financements académiques (ministère, CNRS, INRIA)
- autres partenariats (CEA, IFSTTAR, INRA, INSERM...).

On constate un équilibre entre les doctorats financés par des contrats doctoraux institutionnels, 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 avec une grande diversité de domaines de recherche explorés. Si l'optimisation discrète et la théorie des graphes restent les domaines de prédilection des recherches, l'optimisation continue, l'optimisation stochastique 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**, on ne constate pas de réelle discrimination entre les approches de résolution, avec un quasi-équilibre entre heuristiques ou mét-heuristiques et méthodes exactes. Notons la forte présence des outils de programmation mathématique, attestant du recours de plus en plus fréquent à des solveurs de programmation linéaire et pro-

grammation linéaire en nombres entiers. 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 systèmes logistiques. La communauté interagit avec plusieurs structures et acteurs académiques ou institutionnels, nous en citons ci-dessous quelques uns.

LE CONSEIL NATIONAL DES UNIVERSITÉS (CNU) est une instance nationale qui se prononce sur les mesures individuelles relatives à la qualification et la carrière des enseignants-chercheurs (Professeurs et Maîtres de Conférences). Le CNU est structuré en 52 sections correspondant chacune à une discipline. La communauté RO/AD relève principalement de trois sections CNU 27^{ème} (informatique), 61^{ème} (génie informatique, automatique et traitement du signal) et 26^{ème} (mathématiques appliquées et applications des mathématiques) du CNU. ► <https://www.conseil-national-des-universites.fr/cnu/#/>

LE COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE (CoNRS) est une instance du CNRS qui contribue à l'élaboration de la politique scientifique ainsi qu'au recrutement et suivi de carrière des chercheurs et de l'activité des unités de recherche. Le comité national est structuré actuellement en 41 sections. La communauté RO/AD relève principalement de la section 06 (Sciences de l'information : fondements de l'informatique, calculs, algorithmes, représentations, exploitations) rattachée à l'institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I).

► <http://www.cnrs.fr/comitenational/>

LE GDR RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

(GDR RO) est une structure du CNRS qui contribue à rapprocher les acteurs académiques et industriels de la RO et à structurer l'activité scientifique de la communauté avec différentes actions d'animation (groupes de travail, journées du GDR, soutiens et partenariats). En particulier, le GDR RO s'appuie sur une structuration en pôles, ambitionne d'identifier les enjeux du futur et les tendances en matière de recherche scientifique ; il aide également les groupes de travail à se construire et à se coordonner entre eux et avec d'autres GDR du CNRS. ► <http://gdrro.lip6.fr/>

L'INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE (Inria) est un établissement public à caractère scientifique et technologique placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et du ministère de l'Economie et des Finances. Inria est composé de huit centres de recherche autonomes et s'appuie sur un modèle basé sur la notion d'équipe-projet pour mener des projets collectifs avec des objectifs scientifiques focalisés. Les différents projets s'inscrivent dans l'un des cinq domaines de recherche d'Inria pour répondre à des enjeux pluridisciplinaires et applicatifs de la transition numérique. ► <https://www.inria.fr>

L'ASSOCIATION NATIONALE DE LA RECHERCHE ET DE LA TECHNOLOGIE (ANRT) regroupe des acteurs publics et privés de la recherche et de l'innovation avec différentes missions comme les Conventions Industrielles de Formation par la Recherche (CIFRE) financées par le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Il s'agit d'un dispositif qui subventionne les entreprises qui recrutent un doctorant dans le cadre d'une collaboration de recherche avec un laboratoire public, les travaux devant mener à une soutenance de thèse en trois ans. ► <http://www.anrt.asso.fr/fr/cifre-7843>



ZOOM SUR ...

Une initiative universitaire d'enseignement partagé de la Recherche Opérationnelle :
Une plateforme ouverte pour une pédagogie active en Recherche Opérationnelle

CASEINE EST UNE PLATEFORME D'APPRENTISSAGE (caseine.org).

Son objectif est de favoriser l'apprentissage et l'autonomie des étudiants tout en améliorant la qualité du temps pédagogique que l'enseignant leur consacre.

Basée sur Moodle elle permet :

- 1/ d'évaluer automatiquement le code informatique et les modèles mathématiques des étudiants (par exemple des programmes linéaires),
- 2/ d'assurer un suivi pédagogique des étudiants,
- 3/ de partager des contenus entre les enseignants à travers une communauté d'utilisateurs.



POUR LES FORMATEURS

Créer un cours, utiliser des activités et des exercices partagés, enrégistrer des étudiants est gratuit pour les formations initiales universitaires. C'est un service payant pour les entreprises qui vendent de la formation continue. Si vous souhaitez créer un cours, envoyez le nom de votre université ou de votre institution, le nom du cours et une courte description à contact.caseine@grenoble-inp.fr. Une fois que la création du cours est validée, vous aurez accès à l'espace de partage et au tutorial. Si nécessaire, vous pouvez avoir également un accompagnement pour démarrer.

POUR EN SAVOIR PLUS

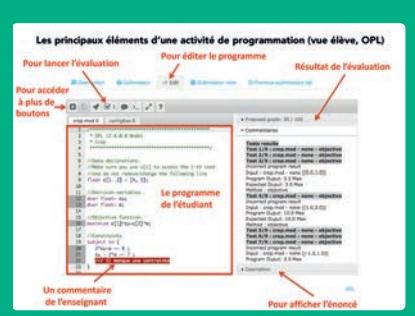
► caseine.org



SE FORMER SUR LA PLATEFORME

Pour rejoindre la plateforme, vous pouvez utiliser votre compte académique via la connexion universitaire ou demander un compte. Vous avez alors accès gratuitement en tant qu'étudiant à tous les cours ouverts de la plateforme (en particulier programmation linéaire, programmation dynamique, théorie des graphes...).

Vous pouvez voir un exemple d'évaluation automatique d'un programme linéaire dans l'image ci-contre.

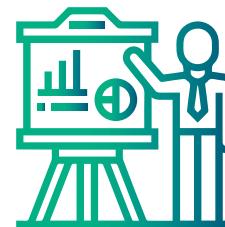


ROADEF

.....
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE
ET D'AIDE À LA DÉCISION

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, en formation par la voie de l'apprentissage 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. Elle est **membre d'EURO et d'INFORMS**, les fédérations européenne et internationale des sociétés de Recherche Opérationnelle.



► 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. D'autres prix de la ROADEF sont décernés pour le meilleur article étudiant et pour le meilleur mémoire de stage de Master 2.



Chaque congrès a lieu dans une ville différente où se trouve une équipe de RO. Après Bordeaux en 2014, Marseille en 2015, Compiègne en 2016, Metz en 2017 et Lorient en 2018, **le congrès 2019 a eu lieu au Havre**.



► LES PUBLICATIONS

- **LE SITE WEB** (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...*).
- **DES FORUMS** permettent 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 six 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.

► CHALLENGE ROADEF



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, EDF, Google, SNCF, Air Liquide et Saint-Gobain. 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.

► LES JOURNÉES FRANCILIENNES DE RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

Ces journées permettent de rassembler la communauté de RO de Paris et de l'Île de France (laboratoires de recherche et industriels) autour des thématiques émergentes tant au niveau théorique qu'à travers les applications. Cette manifestation se déroule **sous l'égide de la ROADEF avec le soutien du GDR RO**.

► LES PRIX

La ROADEF décerne plusieurs prix. En hommage au **Professeur Robert Faure**, pionnier de la Recherche Opérationnelle en France, le prix Robert Faure vise à encourager une contribution originale dans le domaine de l'aide à la décision et de la Recherche Opérationnelle.

- Le prix « Les Pros de la RO »** récompense le meilleur projet de RO d'entreprise.
- Le prix du mémoire de Master** a pour but de mettre en valeur la recherche des étudiants de master consacrée aux questions de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision.
- Le prix du meilleur article étudiant** vise à récompenser un(e) étudiant(e) inscrit(e) en doctorat pour une contribution académique et/ou industrielle originale.

▶ LE PRIX DE THÈSE PGMO

Il s'agit du **Prix de thèse du Programme Gaspard Monge** pour l'optimisation, la Recherche Opérationnelle et leurs interactions avec les sciences des données. Ce prix est organisé avec la participation et le patronage scientifique de la ROADEF et de la SMAI (groupe MODE).

Les candidatures concernent **les thèses de doctorat**, soutenues en France durant l'année écoulée, apportant des contributions significatives dans le domaine de l'optimisation et de la Recherche Opérationnelle.

Ces contributions peuvent être théoriques ou applicatives et relever des mathématiques ou de l'informatique.



REMERCIEMENTS

Par Sourour Elloumi



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. La contribution principale, dans les Parties I et II de cet ouvrage, vient de nos correspondants dans les entreprises qui ont bien voulu participer à l'élaboration de ce document et nous les en remercions très chaleureusement. Vous avez entre les mains la deuxième édition de ce livre. Elle reprend largement des parties de la première édition qui date de 2011 et qui avait été pensée et coordonnée par Jean-Christophe Culioli dont nous saluons la mémoire.

Nous vous offrons une édition actualisée et modernisée. Notre objectif commun est de faire connaître la Recherche Opérationnelle à un public le plus large possible et incluant les étudiants qui souhaitent découvrir cette discipline et envisagent de s'y spécialiser. L'idée de cette nouvelle édition a germé dans la tête du bureau 2016-2017 de la ROADEF, dans le cadre de **la célébration des 20 ans de notre association en 2018**, puis s'est poursuivie avec les membres du bureau 2018-2019.

Nous avons constitué une équipe-projet, **Jean André, Antoine Jeanjean, Eric Gourdin et Aziz Moukrim dont j'ai eu l'honneur de coordonner le travail**.

Nous remercions également **Alain Quilliot** pour l'avant-propos, **Benoît Rottembourg** pour le point de vue IA-RO et **Nadia Brauner** pour la présentation de Caseine.

Liste des correspondants pour cette édition :

Julie Pozzi	AIR FRANCE
Jean André	AIR - LIQUIDE
Mourad Boudia	AMADEUS
Alexandre Marié	ARTELYS
Cédric Hervet	CITODI
Sylvain Sécherre	DGA
Sandrine Charousset	EDF
Nolwenn Jezequel	EURODECISION
Bertrand Le Cun	GOOGLE
Frédéric Baumann	GUROBI
Jérémie Leguay	HUAWEI
Sofiane Oussedik	IBM
Frédéric Gardi	LOCALSOLVER
Gwénaël Rault	MAPOTEMPO
Marc Poujade	OPRED
Eric Gourdin	ORANGE
Antoine Jeanjean	RECOMMERCE
Alain Nguyen	RENAULT
Claude Le Pape-Gardeux	SCHNEIDER ELECTRIC
François Ramon	SNCF
Michel Poujol	SOPRA
Anna Robert	TOTAL
Manuel Davy	VEKIA



Maquette : agence maogani

Illustrations : adobe stock • Flat icon

Imprimé en France par Frazier sur papier recyclé
en 500 exemplaires.

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.