

« ON THE ROAD » !

UN PEU DE ROADÉF
POUR LA ROUTE

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

DOSSIER

LES ENJEUX DE L'OPTIMISATION
QUANTIQUE (p.8)

LAN LPN
LAN LPN

DIGITAL
TRANSFORMATION

SEARCH
1648 0873 1992 3223

NEWS
REPORTAGE

Applications de la recherche
opérationnelle chez RENAULT
(p.2)

MON. 10:42 PM 84.3% PORT A NETWORK SETTING HELP



DÉCEMBRE
2022

ROADÉF

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

ROADEF



Écrire à l'ensemble du bureau :
bureau@roadev.org

ou individuellement à
Sandra Ulrich Ngueveu, president@roadev.org
Nabil Absi, secretaire@roadev.org
Amélie Lambert, tresorier@roadev.org
Brice Mayag, vpresident1@roadev.org (bulletin)
Ronan Bocquillon, vpresident2@roadev.org (site web)
Olivier Péton, vpresident3@roadev.org (relations extérieures)
Alain Nguyen et Lucile Brethomé, promotion_road@roadev.org
 (promotion de la RO/AD)

Éditeur : Sandra Ulrich Ngueveu, INPT-ENSEEIH / LAAS-CNRS, Toulouse - France / Siège social : Institut Henri Poincaré, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05 / Publication : Brice Mayag, Université Paris Dauphine / Langues officielles : français et anglais

Site web : roadev.org

ON THE ROAD

éditorial

par Sandra Ulrich Ngueveu



Chères amies, chers amis de la ROADEF,

L'année 2022 qui se termine aura été marquée par le retour en présentiel de notre conférence annuelle, rendez-vous important pour notre communauté. Cette édition qui s'est tenue à Lyon du 23 au 25 Février 2022 a d'ailleurs enregistré le plus grand nombre de participants depuis que notre communauté existe ! Une respiration bienvenue après ces années de crise sanitaire et de distanciel. Et une belle réussite pour laquelle nous remercions nos collègues de Lyon. Vous trouverez d'ailleurs dans ce numéro un bilan de cette édition du congrès par Khaled Hadj-Hamou.

Le congrès aura également marqué la prise de fonction de votre nouveau bureau 2022-2024, présenté dans ce numéro. Merci aux membres sortants du précédent bureau, François Clautiaux, Céline Gicquel et Caroline Prodron pour leur engagement ! Parmi les nouveaux chantiers amorcés par le nouveau bureau, notons la création d'une composante communication « web et réseaux sociaux » qui contribuera à une meilleure diffusion des activités de la communauté auprès de différents publics (étudiants, académiques, industriels, etc.). Celle-ci s'est déjà concrétisée par une communication renforcée sur les réseaux Facebook, Twitter et LinkedIn (actualités de l'association, événements, prix,

etc.), mais également par le lancement de la chaîne YouTube de la ROADEF dès le congrès 2022, où vous retrouvez les diffusions en direct et les vidéos de plénières et de différents événements parrainés par ROADEF !

L'année 2022 aura aussi été celle du record du nombre de partenaires académiques et industriels à la ROADEF (25). Ceci montre le dynamisme de la discipline et l'engagement de notre communauté pour soutenir l'association dans sa mission de promotion de la RO. Enfin, dans la continuité des questionnements nécessaires sur nos pratiques et l'impact de nos travaux, vous recevrez d'ici peu les résultats de la consultation portant sur le passage à l'accès ouvert des journaux et publications de notre communauté. L'Assemblée Générale de la ROADEF à Rennes, sera l'occasion de discuter des prochaines actions à mener en conséquence.

Dans ce numéro du bulletin ROADEF vous retrouverez vos rubriques phares.

Dans la lignée des présentations industrielles, Alain Nguyen nous donne un aperçu de l'évolution des activités RO chez RENAULT.

Arwa Khannoussi, Patrick Meyer et Aurore Chaubet nous présentent la méthodologie d'aide à la décision pour répondre à une problématique de dimensionnement et de mise à jour de systèmes d'assainissement dans le contexte réel d'une métropole.

Eric Bourreau, Gérard Fleury et Philippe Lacombe nous proposent un tour d'horizon de l'Informatique Quantique en 2022 avec un focus pour l'optimisation et un aperçu des actions commencées au sein de notre communauté RO.

La ROADEF continue de travailler étroitement avec le GDR RO depuis la création de ce dernier. Christian Artigues, Nadia Brauner et Pierre Fouilhoux proposent un bilan de l'année du GDR RO. Vous y trouverez aussi son futur changement de nom.

Notre association parraine chaque année de nombreux événements au niveau national ou local. Vous retrouverez les traditionnels bilans du JFRO et les retours sur les différents prix (mémoire de master, Robert Faure, indus'RO, challenge ROADEF/EURO).

Enfin, vous trouverez les dernières nouvelles et annonces à la fin de ce numéro, ainsi qu'une nouvelle énigme qui nous est soumise par Denis Cornaz et le lien vers la solution de l'énigme du numéro précédent.

Toute l'équipe du bureau de la ROADEF vous souhaite une bonne lecture et une très bonne année 2023 !

Au plaisir de vous retrouver à Rennes,

Sommaire

2 repORtage
Applications de la recherche opérationnelle chez RENAULT p.2

6 radicalement ROAD
Aide à la Décision pour le Dimensionnement des Systèmes d'Assainissement p.6

8 hORs-les-murs
Les Enjeux de l'Optimisation Quantique p.8

14 Vie du GDR RO
Christian Artigues, Nadia Brauner et Pierre Fouilhoux p.14

16 Bilan Congrès de la ROADEF p.16

18 Compte-rendu des JFRO p.18

19 ActuROAD
Résultats des élections du bureau 2022-2024 de la ROADEF p.19

Prix du Master 2021 p.20

Challenge ROADEF/EURO p.20

Prix Robert Faure 2022 p.21

Retour sur le Prix Indus'RO 2022 p.21

La ROADEF lance sa chaîne Youtube ! p.22

23 citRONnADE p.23

repORtage

Applications de la recherche opérationnelle chez RENAULT

..... par Alain Nguyen / RENAULT

Les premiers outils de RO chez RENAULT ont vu le jour au début des années 1990 pour traiter des problématiques de planification de production véhicules. La RO s'est depuis étendue à l'ensemble de la chaîne logistique de l'entreprise, a pénétré les ateliers de fabrication en usine avant d'aborder plus récemment les problématiques de validation véhicules, un enjeu fort pour l'entreprise avec l'enrichissement soutenu des véhicules en équipements en tous genres, notamment les aides à la conduite. Quasiment tous développés en interne, les outils de RO ont apporté à la fois réduction des coûts et réduction des délais dans les tâches des opérationnels.

Ces outils ont été développés par une équipe interne, centralisée pour l'ensemble du groupe RENAULT et localisée au sein du service Intelligence Artificielle Appliquée, à la direction informatique puis à la direction de la transformation digitale. Ce nouveau positionnement plus transversal reflète également l'embarquement de la RO dans les projets digitaux. L'équipe est composée de 4 membres permanents, complétée ponctuellement par des étudiants stagiaires. Nous nous concentrons sur les moteurs d'optimisation, tandis que les interfaces graphiques et les connexions avec les bases de données, sont du ressort de nos collègues de la direction informatique. Nous avons toujours travaillé étroitement avec les experts méthodes et les opérationnels, développant ainsi une connaissance approfondie de leurs métiers. Cette double compétence (RO et métier) est indispensable pour expliciter les règles de gestion métier (souvent implicites !), et les traduire en contraintes/préférences et objectifs d'optimisation dans nos algorithmes. Notre autre atout est notre proximité avec nos collègues informatiques, ce qui facilite grandement l'intégration de nos moteurs d'optimisation dans les systèmes d'information existants de l'entreprise, et par voie de conséquence le passage en production de ces moteurs d'optimisation. La connaissance des systèmes d'information de l'entreprise est également un atout lorsqu'il s'agit de récupérer les données nécessaires dans les « bons » systèmes pour alimenter les POCs, en amont du lancement des projets.

Dans la suite de l'article, à travers quelques exemples de problématiques traitées, nous évoquerons les défis que représente la mise en œuvre des outils d'optimisation sur le terrain.

La RO pour transporter des pièces

Le transport de pièces des fournisseurs vers les usines est un domaine privilégié pour l'optimisation, à la fois par les budgets engagés (plusieurs centaines de millions d'euros annuellement) et par le fait que RENAULT gère en direct son réseau de transport et affrète lui-même les camions, même s'il n'en est pas propriétaire.

Près de 2000 camions livrent quotidiennement les usines en pièces provenant des fournisseurs. L'optimisation du remplissage de ces camions est essentielle pour atteindre les objectifs ambitieux de réduction des coûts logistiques initiés depuis de nombreuses années. La particularité de RENAULT est que la planification du transport des pièces est synchronisée avec la gestion de production. Chaque nuit, le programme de calcul des commandes de pièces passe le relais à l'outil d'optimisation du remplissage des camions, en autorisant ce dernier à avancer de 2 à 3 jours les livraisons si cela s'avère nécessaire pour mieux remplir les camions.

Nous avons implémenté un algorithme heuristique pour optimiser les anticipations de livraisons, couplé avec un algorithme de placement 2D basé sur les stratégies du best fit. L'outil a permis de réaliser des gains conséquents sur les coûts de transport. L'outil a également apporté de grands changements auprès des fournisseurs. Pour la première fois, RENAULT leur fournissait/imposait un plan de chargement (cf Figure 1), là où ils étaient libres auparavant de charger comme ils l'entendaient. Les camions étant désormais très bien remplis, la pratique de certains fournisseurs consistant à rajouter dans les camions les colis en retard devenait quasi impossible ! On imagine l'ampleur de la conduite du changement auprès des fournisseurs (1400 sites rien qu'en Europe), qui a nécessité 10 fois plus de personnes pour déployer l'outil auprès des sites fournisseurs que pour le développer.

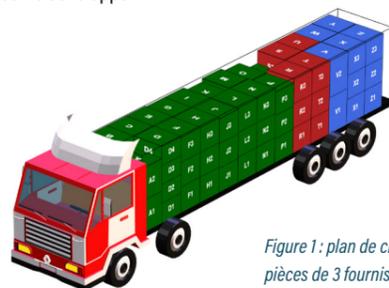


Figure 1 : plan de chargement d'un camion, collectant les pièces de 3 fournisseurs (1 couleur par fournisseur)



La particularité de RENAULT est que la planification du transport des pièces est synchronisée avec la gestion de production.

L'application a été déployée dans une usine de moteurs à Valladolid en Espagne

Nous avons présenté cette problématique de chargement de camions au challenge EURO/ROADEF 2022 (cf l'annonce du challenge dans ce même bulletin). L'objectif est de « benchmarker » notre méthode de résolution. Nous avons déjà eu recours à des challenges pour benchmarker nos outils, en l'occurrence le challenge ROADEF 2005 sur le car sequencing et le challenge ESICUP 2015 sur le chargement de conteneurs à partir des plateformes logistiques (cf Figure 2). A chaque fois, le challenge nous a amenés à reformuler le problème d'optimisation, à nous ré-interroger sur toutes les contraintes/préférences que nous avons intégrées dans nos outils, afin de proposer un problème d'optimisation « purifié », débarrassé de règles de cuisine métier qui n'impactent pas la structure du problème. Et à chaque fois, la qualité de l'algorithme vainqueur nous a amenés à collaborer avec leurs auteurs pour industrialiser (avec succès) leur méthode de résolution dans nos systèmes informatiques. Ces challenges représentent une opportunité unique pour étalonner nos algorithmes à l'aune des meilleures réalisations académiques.

La RO sur le plancher de l'usine

La RO a fait son entrée dans les ateliers en usine ces dernières années. Le premier exemple fut l'approvisionnement en pièces des postes de kitting (zones permettant de constituer des lots de pièces par véhicule avant leur livraison en bord de chaîne). A partir du programme de fabrication (qui induit la consommation des pièces) et du stock initial de pièces, l'outil calcule les heures au plus tard pour réapprovisionner les postes de kitting, sous peine de descendre en dessous du stock de sécurité. En se basant sur un algorithme de placement 2D pour déterminer le nombre d'emballages que l'opérateur peut emporter sur les palettes tractées par son véhicule (cf Figure 3), et sur un algorithme de voyageur de commerce pour déterminer le temps de trajet pour livrer les pièces, l'outil détermine chaque soir les tournées que doivent réaliser les opérateurs pendant la journée du lendemain.

L'application a été déployée dans une usine de moteurs à Valladolid en Espagne et est en cours de déploiement sur une seconde usine de composants mécaniques en Normandie. Nos collègues de Valladolid ont témoigné de la réussite de cet outil dans une vidéo publiée sur la chaîne YouTube de la ROADEF (cf. l'annonce sur la chaîne dans ce même bulletin).

La difficulté ne résidait pas tant dans les algorithmes d'optimisation que dans leur mise en œuvre sur le terrain. Il a fallu convaincre chefs d'équipe et opérateurs de suivre les décisions de l'outil, même si elles étaient parfois contre-intuitives. Grâce à la planification détaillée des activités des opérateurs, l'outil a permis aux chefs d'équipe d'ajuster les effectifs à la charge de travail, mais il a également procuré davantage de sérénité aux opérateurs parce qu'il leur



Figure 2 : chargement d'un conteneur par un cariste



Figure 3 : approvisionnement des pièces en zone de kitting par un opérateur logistique

doit de la visibilité sur leur activité pendant la journée. Auparavant, ces derniers fonctionnaient souvent en mode réaction aux urgences, ce qui pouvait occasionner un grand stress.

Tant à Valladolid qu'en Normandie, l'implication à temps plein d'un pilote usine, légitime auprès des ateliers, a été indispensable pour mener à bien les expérimentations et emporter l'adhésion des opérationnels. A contrario, la non disponibilité d'un tel pilote terrain dans les autres usines du groupe nous empêche pour l'instant d'y déployer l'application.



Figure 4 : opérateurs réalisant le contrôle qualité

Un second exemple d'application de la RO en usine concerne l'engagement d'opérateurs dans l'atelier de contrôle qualité des véhicules, à la fin de la chaîne de montage (cf. Figure 4). Il s'agit du problème « Line Balancing with sequence-dependent setup times ». L'objectif est de faire réaliser un ensemble de tâches de contrôle par un nombre minimal d'opérateurs, en respectant diverses contraintes telles que la durée totale des tâches d'un opérateur (1 minute par véhicule) ou des incompatibilités entre tâches, en prenant en compte les éventuels déplacements de l'opérateur entre ses tâches de contrôle, ainsi que les actions préparatoires (par exemple ouvrir un capot) qui peuvent être mutualisées entre plusieurs tâches de contrôle consécutives. Il faut également satisfaire au mieux des préférences sur l'ordre des tâches, afin de faciliter le travail de l'opérateur. Par exemple, si ce dernier doit réaliser des tâches de contrôle statique et d'aspect, il est plus aisé mentalement de réaliser l'ensemble des tâches de contrôle statique, puis les contrôles d'aspect (ou inversement), que d'alterner continuellement les 2 types de tâches.

L'outil, basé sur une heuristique, a été déployé dans l'usine de Bursa en Turquie et a accompagné la ré-organisation de l'atelier de contrôle de qualité, afin d'optimiser la maquette effectifs. Le chef d'atelier du contrôle qualité est une perle rare : issu d'une double formation génie industriel et RO, il nous a parfaitement décrit la problématique, toutes les contraintes du problème et a ensuite piloté le bon usage de l'application. L'objectif n'était pas tant de faire appliquer aux chefs d'équipe rigoureusement la solution de l'outil (ce qu'ils auraient probablement refusé !), mais de les convaincre qu'il existait une solution optimisée avec moins d'opérateurs, à charge pour eux de construire leur propre engagement opérateurs en s'inspirant de la solution proposée par l'outil. Cerise sur le gâteau : l'outil a reçu le prix spécial du jury à la conférence nationale Turque de recherche opérationnelle en 2021, récompensant l'application de l'outil sur le terrain et les gains apportés aux opérationnels, une grande fierté pour l'usine de Bursa !

La RO au service de la validation des nouveaux modèles véhicules

Les essais véhicules avant la commercialisation d'un nouveau modèle représentent une activité d'importance croissante pour l'ingénierie, de par la multiplication des équipements, notamment la liste en constante augmentation d'aides à la conduite. Cette activité de validation pèse plusieurs centaines de millions d'euros annuellement. Cette incursion de la RO dans la validation véhicules est récente : 2 exemples pour l'illustrer, l'ordonnancement des essais de compatibilité électromagnétique et l'ordonnancement des tests de validation sur des véhicules prototypes.

Parmi les nombreuses infrastructures de tests dont dispose l'entreprise se trouvent les chambres « immunité » pour les essais de compatibilité électromagnétique. Cette chambre présente des murs recouverts de panneaux blancs, couvrant une épaisse couche de matériaux isolants (cf. Figure 5). Des antennes bombardent la voiture d'ondes de toutes puissances et fréquences. Un véhicule en circulation est en effet constamment soumis à des champs électromagnétiques, que ce soit à l'approche d'un relais de téléphone mobile, d'un émetteur de télédiffusion ou d'un radar automatique, il faut donc s'assurer que rien ne perturbe le fonctionnement de la voiture.

La problématique d'optimisation consiste à ordonnancer les essais dans la chambre, en minimisant le nombre de séances nécessaires pour réaliser l'ensemble des tests et en intégrant une particularité de ce type d'essais : plusieurs tests peuvent être menés en parallèle sur le même véhicule, si ces essais sont compatibles entre eux et si leur réalisation simultanée est possible compte tenu des équipements disponibles dans la salle (caméras, éclairages, capteurs, etc.).



Figure 5 : chambre d'essais de compatibilité électromagnétique

Cette incursion de la RO dans la validation des véhicules est récente



Figure 6 : banc d'essais véhicules

L'outil sera un point d'appui précieux pour les planificateurs dans leurs négociations continues avec les clients demandeurs des essais, tant sur les délais que sur les équipements requis par les tests.

L'outil, basé sur le solveur de programmation par contraintes CPO d'IBM, a été déployé cette année. Outre l'ordonnancement des essais, l'application permet également de réaliser les arbitrages entre le financement d'équipements supplémentaires dans la chambre et la réduction du délai des essais. Nos interlocuteurs, des ingénieurs méthodes validation, étaient pleinement conscients des apports de l'outil et comprenaient parfaitement sa logique. Ils se sont chargés de déployer l'outil auprès des planificateurs d'essais. La présence de ces personnes « relais » est particulièrement précieuse pour l'adoption des outils RO.

En amont des essais de compatibilité électromagnétique, une première équipe de planificateurs doit définir le nombre de véhicules prototypes (et leurs caractéristiques) nécessaires pour réaliser l'ensemble des tests de validation (tests de compatibilité électromagnétique, tests acoustiques, roulages pour homologuer des aides à la conduite, crash tests, etc.). C'est un problème d'ordonnancement de tâches sur des machines, à ceci près que chaque essai requiert des équipements particuliers sur les véhicules, véhicules qui sont initialement dépourvus de tout équipement et qui sont produits par les usines selon un planning prédéfini. Il s'agit donc d'ordonnancer les essais sur les véhicules de façon à minimiser les retards par rapport aux échéances demandées par les clients (internes), de minimiser le nombre de véhicules nécessaires et d'affecter les « bons » équipements aux véhicules (sachant que 2 tests peuvent requérir 2 listes d'équipements incompatibles entre eux).

Nous avons eu de nouveau recours à CPO pour résoudre cette problématique et l'outil est en cours d'expérimentation. Outre la « richesse » de la problématique d'optimisation, nous avons été confrontés à la multitude des contraintes métier, à la diversité des façons de travailler des planificateurs, au besoin pour ces derniers de modifier/adapter la solution à leur convenance. L'outil sera un point d'appui précieux pour les planificateurs dans leurs négociations continues avec les clients demandeurs des essais, tant sur les délais que sur les équipements requis par les tests. En effet, l'outil met en évidence le caractère irréaliste de certains délais, ou encore la possibilité de réduire le nombre de véhicules si certains clients modifiaient légèrement leurs exigences en termes d'équipements. Nous savons d'ores et déjà que l'expérimentation sera longue ... mais au moins, tous les acteurs sont convaincus des apports de l'optimisation !

Conclusion

La RO a essaimé au sein de nombreux secteurs de l'entreprise depuis 3 décennies, traitant des sujets très variés et apportant des gains économiques conséquents aux métiers. Notre positionnement transversal à toute l'entreprise, notre proximité tant avec les métiers qu'avec l'informatique et notre souci de maîtriser en interne le développement des outils d'optimisation, ont constitué des atouts majeurs au développement de la RO au sein de l'entreprise.

En termes de perspectives, nous poursuivons notre mission de déployer toujours davantage la RO, que ce soit dans les périmètres encore en friche, tels que direction commerciale ou les services généraux, ou dans les outils d'aide à la décision tactique/stratégique, domaine encore peu exploré.

rADicalement ROAD



Aide à la Décision pour le Dimensionnement de Systèmes d'Assainissement

.....
 • **Arwa Khannoussi** (IMT Atlantique, LS2N, F-44300 Nantes),
 • **Patrick Meyer** (IMT Atlantique, Lab-STICC, UMR CNRS 6285, F-29238 Brest)
 • **Aurore Chaubet** (Eau du Ponant, F-29200 Brest)

1. La gestion des réseaux d'assainissement : des contraintes écologiques, économiques et réglementaires

Dans de nombreuses villes, les réseaux d'assainissement mis en œuvre sont de *type unitaires*. Cela signifie qu'ils drainent à la fois des eaux usées, des eaux de nappes et des eaux issues du ruissellement de surface, comme par exemple l'eau de pluie. A l'époque de leur création, l'infiltration des eaux de pluie dans le sol se faisait naturellement. Depuis, l'artificialisation des sols a augmenté entraînant avec elle une hausse des volumes drainés par les réseaux. Ainsi, par temps de pluie, les réseaux d'assainissement unitaires se saturent. Pour éviter des débordements fréquents et des inondations, des ouvrages dénommés déversoirs d'orage sont positionnés sur le réseau. Ils permettent de déléster une part des effluents directement vers le milieu naturel sans traitement préalable. Ce phénomène est qualifié de déversement. La réglementation nationale a évolué en 2015 (arrêté du 21 juillet 2015). Elle impose une limitation des déversements directs d'eaux usées dans le milieu naturel issus des réseaux d'assainissement unitaires.

Afin de préserver les écosystèmes et de respecter les réglementations de plus en plus strictes, de plus en plus de villes doivent donc trouver des solutions pertinentes à ce problème de déversement, au meilleur coût possible. Une des solutions consiste en la création de bassins de stockage-restitution. Les volumes générés par la pluie sont stockés le temps de l'évènement pluvieux et réintroduits dans le réseau à un débit contrôlé. Cette solution fonctionne, mais présente l'inconvénient d'être coûteuse et difficilement réalisable dans un contexte de milieu urbain dense. La déconnexion des eaux pluviales du réseau unitaire et leur infiltration dans le sol constituent d'autres éléments de réponse au problème général de gestion des déversements directs d'eaux usées dans le milieu. D'autres solutions peuvent également être imaginées, comme l'augmentation de la capacité de traitement de stations d'épurations existantes, ou la construction de nouvelles stations, par exemple.

L'objectif de ce projet est de répondre à cette problématique de mise à jour des réseaux d'assainissements dans le contexte réel de Brest Métropole, en proposant une méthodologie permettant de dimensionner les infrastructures nécessaires à la gestion des pollutions liées aux déversements du système d'assainissement par temps de pluie, et tenant compte de trois facteurs cruciaux : le cadre réglementaire, les coûts de construction et d'exploitation, et, les impacts sur le milieu récepteur.

2. Et l'aide à la décision dans tout ça ?

D'un point de vue « aide à la décision », il s'agit donc d'évaluer un grand nombre de scénarios d'amélioration du système d'assainissement (les alternatives de décision), évalués selon un certain nombre de critères de décision, le tout en intégrant les perspectives et les priorités de plusieurs acteurs. Ces scénarios peuvent être composés de diverses actions, comme la construction de nouveaux bassins de stockage, la mise en place de politiques de déconnexion des eaux pluviales, ou la création d'espaces naturels pour l'infiltration de l'eau de pluie.

Nous avons proposé de mettre en œuvre un processus d'aide à la décision formel (Tsoukiàs, 2007), qui a servi d'interface entre le décideur, les parties prenantes et l'analyste (nous). Ce processus, appliqué à notre problème d'évaluation multi-critères, a été découpé en quatre grandes étapes : l'identification du problème, sa formalisation et le choix d'un modèle de préférences, la collecte des données et la détermination des paramètres préférentiels, et, pour finir, le calcul d'une recommandation de décision finale. Chacune de ces étapes a donné lieu à de nombreux échanges entre les différents acteurs. Nous détaillons les différents moments-clés de ce processus ci-après.

2.1 Identification du problème

Dans cette première étape nous avons identifié que le décideur final qui prendra la responsabilité de la mise en œuvre du scénario d'amélioration retenu est le directeur d'Eau du Ponant, la Société Publique Locale (SPL) qui assure la gestion du réseau d'assainissement collectif sur le territoire de Brest Métropole entre autres.

Il a également été décidé de retenir l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (AELB) comme partie prenante de la décision. Eau du Ponant a en effet exprimé le souhait d'intégrer l'avis de l'Agence de l'Eau dans sa décision finale. Comme déjà évoqué, les alternatives de décision sont les scénarios d'amélioration du système existant. Afin de montrer l'intérêt de la démarche, il a été décidé d'utiliser l'état existant du réseau comme un scénario de comparaison.

Les critères principaux intervenant dans l'évaluation sont de nature économique, d'impact écologique, de risque et d'impact social. Leur détail sera spécifié dans la deuxième étape du processus, via de nombreux échanges entre les différents acteurs du projet.

2.2 Formalisation du problème et choix d'un modèle de préférences

55 scénarios d'amélioration ont été construits avec divers experts et acteurs du projet. Ces 55 alternatives de décision intègrent différents niveaux de déconnexion du réseau, différents bassins d'orage, modes de traitement des effluents déversés et niveaux de renforcements du réseau. L'état actuel, sans modifications, est considéré comme un 56^e scénario. A part ce dernier, tous les scénarios respectent bien entendu le cadre réglementaire.

Pour les critères d'évaluation, nous avons opté pour une approche bottom-up, où les différents acteurs du réseau, la partie prenante et le décideur ont pu s'exprimer sur les éléments qui influencent leur évaluation des scénarios. Une fois cette liste d'attributs établie, nous les avons regroupés en des critères synthétiques, au sujet desquels les parties prenantes et le décideur ont pu exprimer leurs préférences lors d'interviews spécifiques. Les 8 critères retenus sont : le coût annuel moyen, la conformité (pérennité par rapport à de futures évolutions des réglementations), l'impact sur l'activité nautique, l'impact sur l'écosystème, l'impact social du chantier et des ouvrages, le calendrier de réalisation, le risque du scénario (dérive budgétaire), et, pour terminer, l'activité économique générée par les chantiers et la maintenance des ouvrages. Il a en outre été décidé de considérer le résultat de l'aide à la décision pour l'Agence de l'Eau comme un critère de décision supplémentaire pour Eau du Ponant, à côté des 8 autres critères importants pour la SPL.

Après de nombreux échanges avec la partie prenante et le décideur, nous avons opté pour la résolution d'un problème de tri multi-critère, c'est à dire l'affectation des alternatives à des catégories ordonnées préférentiellement. L'idée derrière ce choix est de rendre la main au décideur en fin de processus d'évaluation, qui n'aura alors plus qu'à considérer les scénarios affectés à la classe préférée pour son choix final. En conséquence l'objectif de la méthodologie que nous proposons est d'évaluer chaque scénario d'amélioration sur une échelle qualitative avec un nombre assez restreint de niveaux (par exemple « bon », « moyen », « mauvais »). Le modèle des préférences retenu est MR-Sort (une version simplifiée d'ELECTRE TRI), qui se base sur le paradigme du surclassement, nécessite un nombre assez restreint de paramètres préférentiels, et qui est caractérisé mathématiquement (Bouyssou et al., 2007, 2007a).

2.3 Collecte des données et détermination des paramètres préférentiels

La tâche la plus chronophage (et nécessitant des ressources de calcul très importantes) du projet a été la collecte des données relatives aux 56 scénarios sur les 8 critères (et surtout le très grand nombre d'attributs qui composent les critères). Nous ne détaillerons ni les calculs mis en œuvre, ni les données résultant ici. Au final cette étape a généré un tableau de performances dans lequel chaque scénario est évalué selon les 8 critères.

La modélisation des préférences du décideur (le directeur d'Eau du Ponant) a été réalisée lors de plusieurs interviews. Ils ont permis d'identifier que tous les critères proposés sont intéressants aux yeux du décideur, mais que les critères de « coût annuel moyen », de « calendrier de réalisation » et de « conformité » sont clairement les plus importants (dans cet ordre). Par ailleurs, comme déjà mentionné dans l'étape précédente, l'avis de l'AELB est jugé important pour la direction d'Eau du Ponant et doit par conséquent être considéré comme un critère de décision à part entière. L'évaluation finale des scénarios doit également se faire sur 4 niveaux (de « très bon » à « mauvais », en passant par « bon » et « moyen »).

Afin de pouvoir calculer les évaluations globales des scénarios selon le modèle MR-Sort du décideur, nous avons donc d'abord dû déterminer les évaluations globales selon le modèle MR-Sort de l'AELB. L'interview d'un représentant de l'AELB nous a permis de fixer un certain nombre d'éléments de préférences. Nous avons notamment pu constater que l'« impact social » n'est pas important aux yeux du représentant de l'AELB, par contre les « coûts » et l'« impact sur l'écosystème » le sont. La granularité de l'évaluation finale est également moins fine que pour le décideur, étant donné que seules 3 catégories « bon », « moyen », « mauvais » ont été retenues.

Références : A. Tsoukiàs, *On the concept of decision aiding process: an operational perspective*, *Annals OR* 154 (1) (2007) 3–27. D. Bouyssou, T. Marchant, *An axiomatic approach to noncompensatory sorting methods in MCDM, I: The case of two categories*, *European Journal of Operational Research* 178 (1) (2007) 217–245. D. Bouyssou, T. Marchant, *An axiomatic approach to noncompensatory sorting methods in MCDM, II: more than two categories*, *European Journal of Operational Research* 178 (1) (2007a) 246–276.

Après application du modèle MR-Sort pour l'AELB, 19 scénarios sont évalués comme « bons », 20 scénarios comme « mauvais », et le reste comme « moyens ». Ce calcul est alors intégré comme un critère d'évaluation supplémentaire pour Eau du Ponant.

2.4 Calcul de la recommandation finale

Le calcul de l'évaluation des scénarios par le modèle MR-Sort d'Eau du Ponant permet d'évaluer 2 scénarios comme « très bons », 5 scénarios comme « bons », 19 scénarios comme « moyens », et le reste comme « mauvais ». Pour chacun des 7 scénarios « très bons » ou « bons », une explication de l'évaluation a été générée sous la forme de règles majoritaires (par exemple : un scénario donné dépasse certains seuils sur les critères de coût, de conformité, d'impact sur les activités nautiques et de décision de l'AELB, et il est donc considéré comme « très bon »). Pour certains scénarios considérés comme « bons » par la méthode d'évaluation multi-critère, une explication a aussi été fournie au décideur pour justifier le fait qu'ils ne sont pas « très bons ».

Au final l'affectation des 56 scénarios a été jugée comme cohérente avec les préférences et priorités d'Eau du Ponant. Une étude détaillée des implications des deux scénarios « très bons » a conduit à choisir un scénario équilibré entre des ambitions de déconnexion et la construction d'ouvrages. Le scénario alternatif présente des ambitions de déconnexion nettement plus élevées. Cependant, Eau du Ponant, en tant qu'exploitant des réseaux d'assainissement, estime qu'il maîtrisera moins la réalisation du scénario, car les politiques de déconnexion sont menées par Brest Métropole. Le choix final s'est donc porté sur le scénario « plus sûr » du point de vue du décideur.

3. Quel impact sur la pratique managériale ?

La méthodologie proposée a facilité le déroulement de l'étude, en proposant un processus opérationnel clair, interactif et itératif, qui a permis à tous les acteurs du projet de s'exprimer et d'être intégrés de manière explicite. Ce processus a permis d'identifier un certain nombre de scénarios d'amélioration, ce qui est un résultat intéressant en soi, et a obligé les différents acteurs à s'interroger sur la faisabilité de ces scénarios et sur les impacts générés sur différents critères. La méthodologie proposée a également mis en évidence la nécessité d'intégrer explicitement une partie prenante dans le processus. D'autres parties prenantes auraient pu être intégrées, mais il a été jugé suffisant de considérer uniquement l'AELB pour cette évaluation. En termes de résultat de la méthodologie, le tri en 4 catégories a permis de focaliser la réflexion du décideur sur un nombre très limité de scénarios (2). Le choix final entre ces deux scénarios a donc nécessité un effort cognitif réduit, et l'étude approfondie de ces deux scénarios a pu se faire de manière assez rapide. Le processus proposé a également permis aux différents acteurs de mieux comprendre l'impact des différents scénarios sur un certain nombre de critères. A plusieurs reprises, ces impacts ont été discutés et analysés en détail, afin de bien comprendre leurs origines dans la configuration fine des scénarios. Cela a également permis d'adapter la configuration de certains scénarios afin d'explorer des voies alternatives.

En termes d'acceptabilité de la recommandation de décision, les explications fournies par l'interprétation des résultats de MR-Sort ont permis de comprendre pourquoi certains scénarios considérés a priori comme prometteurs ne se sont pas retrouvés dans la catégorie « très bon ». Des modifications de ces scénarios ont été envisagées à un moment, afin de les faire passer de la catégorie « bon » à la catégorie « très bon », mais il a été rapidement compris que ces modifications n'étaient pas réalisables. Ces explications ont également été utilisées pour expliquer la solution retenue à d'autres organismes qu'Eau du Ponant et l'AELB, afin de justifier le choix du déploiement de la manière la plus consensuelle possible.

Au final, la méthodologie proposée a permis de rendre le processus de choix de l'amélioration du système d'assainissement de Brest Métropole plus transparent, rigoureux et rationnel. La méthodologie proposée est bien entendu transposable à d'autres métropoles.

hORs-les-murs

Les Enjeux de l'Optimisation Quantique

..... par Eric Bourreau (LIRMM), Gérard Fleury (LIMOS), Philippe Lacomme (LIMOS)

Dans cet article, nous vous proposons en quelques pages de faire un tour d'horizon de l'Informatique Quantique en 2022 et plus spécifiquement de réaliser un focus pour l'optimisation. Dans un premier temps, nous ferons un rapide panorama, puis nous fournirons une première intuition de ce que sont les qubits, ces portes quantiques et les circuits qui en découlent, ainsi que des pistes pour réaliser vos premiers algorithmes. Enfin, d'un point de vue plus prosaïque, nous parlerons des financements issus du plan quantique et des actions qui ont commencé au sein de la communauté Recherche Opérationnelle.

Cet algorithme a attiré l'attention de la communauté scientifique car l'implémentation d'un tel algorithme sur un ordinateur quantique pourrait remettre en cause les systèmes de chiffrement de type RSA. Toutefois les tests réalisés récemment sur des machines quantiques n'ont permis la factorisation que de nombres de taille modeste (15 factorisé en 3x5 sur une machine quantique de 7 qubits).



Richard Feynman in 1984 in Waltham, Massachusetts. ©Tamiko Thiel/Wikipedia

La seconde publication qui a marqué les esprits dans les années 1990, est la publication de Grover en 1996 parue dans les actes d'un congrès et qu'on peut consulter sur arxiv.

L. K. Grover, A fast quantum mechanical algorithm for database search. Proceedings 28th Annual Symposium on the Theory of Computing (STOC) 1996, pp. 212-219. <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9605043>

Cet algorithme permet de rechercher un élément dans un tableau avec une accélération quadratique par rapport à son équivalent sur machine classique. Ainsi, sur un tableau T de N éléments non triés, la recherche d'un élément dans ce tableau peut nécessiter N itérations au pire des cas et en moyenne N/2 itérations. Aussi surprenant que cela puisse paraître, l'algorithme de Grover propose une solution permettant de trouver l'élément recherché en $O(\sqrt{N})$.

1. Panorama sur les machines quantiques

LES DÉBUTS

Richard Feynman a posé les bases de l'ordinateur quantique dans les années 1980 et l'ensemble des contributions de Richard Feynman sont résumés dans l'article récent de John Preskill, article disponible sur arxiv.

John Preskill, Quantum computing 40 years later. <https://arxiv.org/abs/2106.10522>.

Des travaux plus algorithmiques que physiques ont été réalisés dans les années 1990 et ont abouti aux premiers algorithmes quantiques.

La publication la plus connue est celle de Peter Shor en 1994. En effet, Peter Shor a proposé un algorithme pour factoriser un nombre N constitué de b bits en $O(b^3)$ alors que les meilleures méthodes classiques connues restent exponentielles. Une version de cet article est directement disponible sur arxiv.

Peter W. Shor, Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer. <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9508027>.

L'implémentation d'un tel algorithme sur un ordinateur quantique pourrait remettre en cause les systèmes de chiffrement de type RSA.

Un des enjeux probables pour concevoir des approches quantiques efficaces consistera à traduire ces connaissances au niveau des hamiltoniens

DE NOUVEAUX ALGORITHMES POUR L'OPTIMISATION

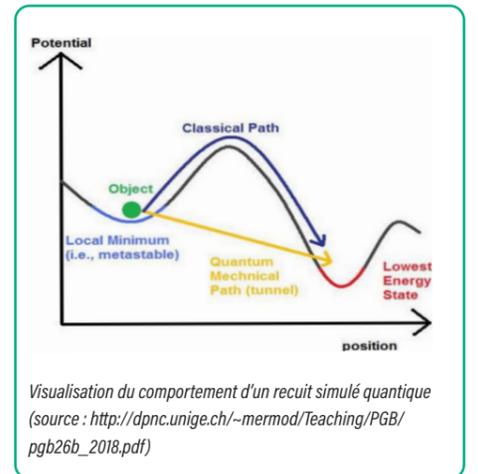
A cette liste d'algorithmes des années 90, il faut ajouter des algorithmes itératifs plus récents qui dans l'idée s'apparentent à des versions quantiques de méta-heuristiques très répandues dans la communauté Recherche Opérationnelle. C'est un abus de langage, mais on peut dire qu'il existe un recuit simulé quantique qui est l'équivalent quantique du recuit simulé.

Dans ces familles d'algorithmes de type méta-heuristiques quantiques, on peut citer :

- Les algorithmes adiabatiques qui fournissent une version algorithmique "fidèle" d'un processus physique assimilable à un recuit simulé quantique.
- Les algorithmes de type QAOA (Quantum Approximate Optimization Algorithm) qui sont une version améliorée des algorithmes précédents que l'on peut considérer comme "proches" des métaheuristiques hybrides dans lesquelles une recherche locale vient améliorer le processus de convergence.

L'intérêt croissant porté par la communauté optimisation au quantique réside essentiellement dans deux éléments concomitants :

- Le premier est l'apparition des premières machines quantiques qui offrent la possibilité d'exécuter des codes informatiques associés à ces algorithmes quantiques et donc de tester les algorithmes quantiques. On peut citer les machines Dwave (5000 Qbits dédiés), les machines IBM (100 Qbits universels) et aussi des solutions purement nationales comme la future machine de Pasqual. Ces machines ne sont pas toutes du même type et n'utilisent pas les mêmes technologies mais elles permettent de tester les algorithmes.
- Le deuxième est la proposition de nouveaux algorithmes itératifs de type méta-heuristiques quantiques qui permettent sur certains problèmes de Recherche Opérationnelle de limiter l'exploration de l'espace de recherche à la partie de l'espace intéressant. De ce point de vue ces avancées récentes font écho aux avancées bien connues en Recherche Opérationnelle où des opérateurs spécifiques ont pour certains problèmes permis des avancées très importantes. On peut citer l'opérateur de flot pour le RCPS (problèmes de gestion de projet à contraintes de ressources) proposé par Artigues et al., le vecteur de Bierwith pour le Job-Shop ou encore l'algorithme Split pour le VRP.



Plus de 5 décennies de recherche opérationnelle ont permis d'acquies des connaissances précises sur de nombreux problèmes de Recherche Opérationnelle. Les meilleures méthodes publiées tirent profit de bonnes modélisations en limitant la recherche à la partie de l'espace contenant la ou les solutions optimales ou bien en limitant l'exploration à des parties de l'espace qui correspondent aux solutions souhaitées. Un des enjeux probables pour concevoir des approches quantiques efficaces consistera à traduire ces connaissances au niveau des hamiltoniens qui sont l'expression quantique de la fonction objectif classique. Des travaux ont été portés récemment par Stuart Hadfield qui a introduit un hamiltonien spécifique pour le problème de coloration par exemple ou pour le Voyageur de Commerce.

S. Hadfield et al, From Quantum Approximate Optimization Algorithm to a Quantum Alternating Operator Ansatz. Algorithms 12.2 (2019). <https://arxiv.org/abs/1709.03489>

INTÉRÊT DU QUANTIQUE POUR LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

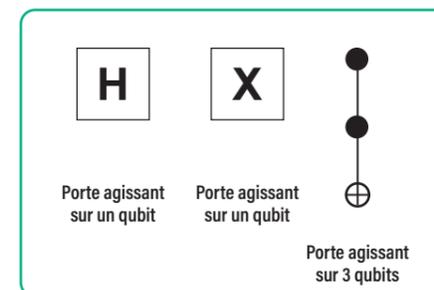
L'intérêt de l'informatique quantique pour des chercheurs en Recherche Opérationnelle est fort, au vu de la complexité des problèmes étudiés, qui sont NP-Difficiles (problème du voyageur de commerce, coloration de graphe...). Sur des versions de base, il est possible de définir des hamiltoniens efficaces en se basant sur les travaux publiés récemment. L'extension à des variantes plus riches n'est pas triviale et va nécessiter un investissement très important : des centaines de problèmes de recherche opérationnelle sont actuellement étudiés par la communauté et chacun d'eux possède ses propres spécificités.

La taille des problèmes abordables par les technologies quantiques reste limitée du fait de la faible capacité des machines actuelles (les machines Dwave sont à considérer sous un angle particulier compte tenu de leurs spécificités) mais certains fournisseurs laissent entrevoir des machines avec 400 qubits en fin d'année et plus de 1000 Qbits pour 2023. Depuis 5 ans cette progression est constante.

En résumé il semblerait que l'algorithmique quantique pour la recherche opérationnelle doive suivre les évolutions techniques via un cheminement identique à ce qui s'est fait dans les années 1980 avec l'informatique "classique".



Figure 1. Exemples de portes quantiques (source : Bourreau et al., 2022)



2. Exécuter son premier programme quantique

INSTRUCTION ET PORTES QUANTIQUES : NOTION DE PROGRAMME

L'équivalent d'une variable booléenne (bit) est ici un qubit. Les qubits sont représentés en colonne dans un registre de plusieurs variables, appelé "circuit".

Dans l'exemple de la *figure 2*, le circuit comprend donc 3 "variables" x_i , 3 "variables" C_i , une variable A et une variable R. Chaque trait horizontal représente l'évolution du qubit au cours du temps. Le diagramme se lit de gauche à droite. En particulier un trait horizontal donne la liste des portes qui sont appliquées à un qubit spécifique (appliquées séquentiellement).

Ainsi, par exemple dans la partie "initialisation" du circuit de la *Figure 2*, les trois premières portes H et la porte X sont appliquées sur différents qubits en parallèle.

Comme dans un programme "classique", un circuit comprend :

- une étape où les qubits sont déclarés (premier rectangle) ;
- une étape d'initialisation (deuxième rectangle) ;
- une étape algorithmique (enchaînement de portes quantiques) (troisième rectangle) ;
- une étape de récupération du résultat sur une machine classique (quatrième rectangle).

Attention, de part sa nature, la lecture des résultats fournit toujours une distribution de probabilités des différents états quantiques.

COMMENT TESTER SES PREMIERS PROGRAMMES

Comme pour un programme classique, il s'agit d'écrire un programme (en Python sur les machines d'IBM, en Cirq sur les machines de Google) qui est alors transformé pour être exécutable sur une machine quantique ou sur un simulateur.

L'étape qui permet d'obtenir des résultats est l'exécution du circuit qui peut se faire soit sur un ordinateur classique avec un simulateur, soit sur une machine quantique, comme illustré en *Figure 3*. En pratique exécuter (évaluer) un circuit sur une machine classique revient à manipuler des matrices et à faire des calculs de probabilités : ceci peut nécessiter beaucoup de ressources de mémoire. En effet la représentation des matrices croît de manière exponentielle avec le nombre de qubits, contrairement à leur exécution sur des machines réelles.

Si d'un point de vue théorique il semble a priori que les résultats sur un simulateur et une machine quantique soient les mêmes, en pratique ils seront, avec les machines actuelles, différents. En effet, les qubits des machines quantiques sont bruités et les distributions de probabilités obtenues à la fin d'exécution d'un circuit ont de grandes chances d'être très différentes des distributions obtenues sur un simulateur surtout si le circuit contient un grand nombre de portes.

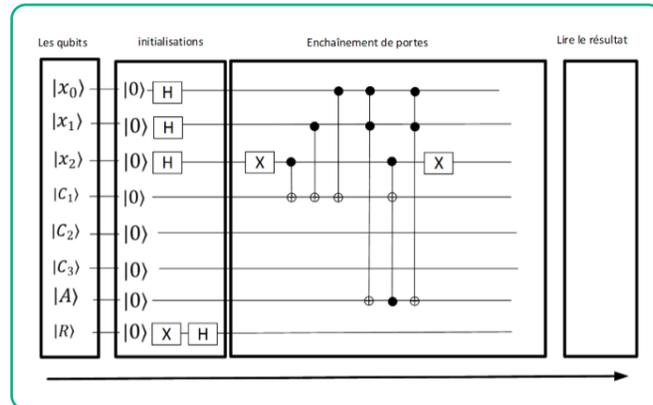


Figure 2. Structure d'un programme quantique (source : Bourreau et al., 2022)

LES SOLUTIONS À TESTER

La solution IBM se compose d'un simulateur et de machines quantiques sur lesquelles il est possible d'exécuter des circuits gratuitement. L'accès à ces machines peut se faire soit via un code Python et l'utilisation de la librairie Qiskit ou directement à la souris via un navigateur Internet. <https://quantum-computing.ibm.com/> ATOS propose une solution packagée dans la QLM qui est un simulateur performant. <https://myqlm.github.io/> On peut aussi citer :

- La solution de Microsoft en Q# <https://azure.microsoft.com/fr-fr/resources/development-kit/quantum-computing/>
- La solution Google Cirq <https://quantumai.google/cirq>
- La solution Rigetti <https://qcs.rigetti.com/sdk-downloads>

Il est difficile de classer ces solutions qui diffèrent à la fois par la facilité de prise en main, ou par la mise à disposition ou non de machine quantique. Il faut évidemment remarquer que pour faire des TP d'initiations à des étudiants les simulateurs installés en local sur des portables sont largement suffisants.

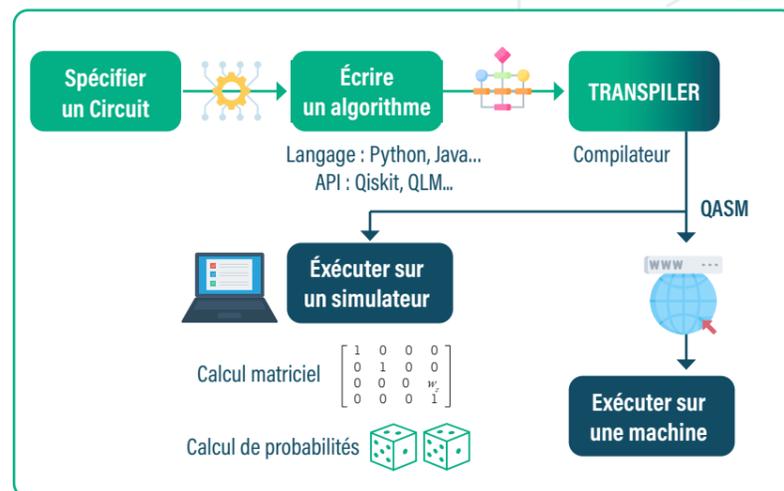


Figure 3. Exécuter un programme quantique (source : Bourreau et al., 2022)

3. Financement et communication

LE PLAN QUANTIQUE NATIONAL

Comme pour toute nouvelle technologie, les opportunités de l'informatique quantique évolueront au fur et à mesure des avancées technologiques.

En janvier 2020, l'INRIA citait déjà sept domaines d'applications actuellement imaginables :

- L'Intelligence artificielle
- Cryptographie et cybersécurité
- Finance
- Modélisation moléculaire
- Santé
- Météorologie
- Logistique

Le rapport parlementaire met en évidence des besoins en recherche théorique et insiste aussi sur les champs d'applications dont la logistique

La présence de la logistique (cf. *Figure 4*) est à noter et il faut préciser que le mot logistique doit être compris dans son sens le plus général comme étant l'ensemble de tous les problèmes qui apparaissent dans la gestion d'une chaîne logistique.

Le rapport parlementaire met en évidence des besoins en recherche théorique et insiste aussi sur les champs d'applications dont la logistique (au sens large) fait partie. Les aides et soutiens financiers au quantique sont nombreux et variés et prennent forme par des programmes nationaux et par la création d'une plateforme nationale de calcul.

Le projet PEPR EPIQ (pilote par Sébastien Tanzilli) se concentre sur la spécification et la compréhension des briques logicielles nécessaires au bon fonctionnement d'un processeur quantique (compilation, manipulations, optimisation, langages intermédiaires, certification, etc.).

Le projet PEPR EPIQ (pilote par Sébastien Tanzilli) se concentre sur la spécification et la compréhension des briques logicielles nécessaires au bon fonctionnement d'un processeur quantique (compilation, manipulations, optimisation, langages intermédiaires, certification, etc.). Il vise également à développer de nouveaux algorithmes quantiques dans des domaines comme l'apprentissage machine (Machine Learning), l'optimisation ou la chimie, ainsi qu'à faciliter la simulation des machines actuelles pour mieux comprendre leur fonctionnement.

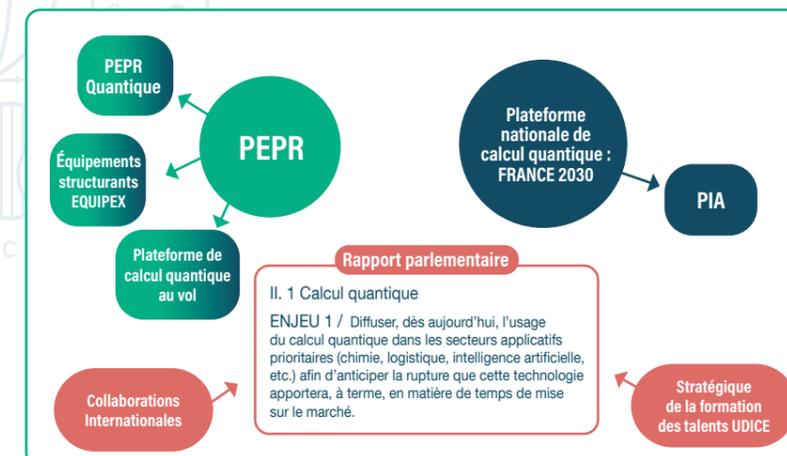


Figure 5. Soutien au quantique

Extrait du Rapport Parlementaire

MISSION PARLEMENTAIRE 2019

► DEVENIR L'UN DES LEADERS MONDIAUX EN MATIÈRE DE LOGICIELS MÉTIERS

La France pourrait capitaliser sur ses recherches en algorithmie et industrie du logiciel "clé en main" pour les domaines de la chimie, la pharmacologie, les matériaux avancés, la logistique et l'apprentissage en IA.

Optimisation et Logistique

Le calcul Quantique permettrait d'accélérer la résolution de problèmes d'optimisation complexes, notamment pour la distribution d'énergie, contrôle et reroutage du trafic, et la planification des tâches.

RECOMMANDATIONS

► UN PROGRAMME DE SOUTIEN AU DÉVELOPPEMENT DES USAGES

► Il existe aussi une **plateforme nationale de calcul quantique hybride** qui vise une interconnexion entre systèmes classiques et ordinateurs quantiques. L'objectif est de faciliter l'accès aux capacités de calcul quantique, afin que des laboratoires, des startups et des industriels puissent identifier, développer et tester de nouveaux cas d'usages.

Parmi les cas d'usage, les problèmes de planification et de logistique présentent des benchmarks intéressants et déjà fortement utilisés dans l'optimisation classique.

► Il existe une **initiative "stratégique"** qui regroupe 10 universités (10 sites) et chaque site a reçu une enveloppe de 1 million d'euros dont la majorité va vers des bourses de thèse, mais qui peut aussi financer des bourses de master, universités d'été ou modules d'introduction au quantique.

► Au niveau international, la France a signé en septembre 2021 un **accord de collaboration avec les Pays-Bas** au vu des complémentarités fortes entre les deux écosystèmes. L'objectif est de créer des synergies européennes, qui commencent au niveau scientifique mais peuvent se poursuivre au niveau industriel. Un exemple récent est la fusion de Pasqal et Qu&Co.

Par ailleurs, une coopération bilatérale a été décidée avec les Etats-Unis en décembre 2022. Elle doit porter sur les applications du calcul quantique, la mutualisation des infrastructures, les réseaux de communication quantique, l'hybridation du calcul classique et quantique et le développement de standards. L'ambition du gouvernement est d'avoir une déclaration commune sur un accord de coopération (comme avec les Pays-Bas) en 2022.

4. Actions auprès de la communauté RO

EMERGENCES D'ACTIONS AUTOUR DE LA RO QUANTIQUE

Malgré le fort intérêt théorique et les avantages fournis par les machines quantiques, beaucoup de choses restent à faire pour valoriser ces technologies.

Plusieurs éléments d'explication peuvent être mis en avant pour expliquer le travail restant à faire :

- une partie scientifique d'appropriation des travaux antérieurs en quantique qui fait appel à des notions de physique et/ou de mathématiques peu utilisés en recherche opérationnelle.
- une partie valorisation des travaux de recherche en conférences et dans les revues de recherche opérationnelle qui devrait être renforcée pour donner une audience et favoriser la visibilité des travaux. Des initiatives existent pour les conférences au point de vue national (des sessions "quantiques" ont été organisées par exemple à la ROADEF) et international (pour la première fois des sessions quantiques ont été organisées à EURO Espoo en 2022).
- une partie de valorisation de "l'optimisation quantique" auprès des fournisseurs de moyens institutionnels (ANR par exemple).

Les actions de recherche en cours sont essentiellement des actions exploratoires soutenues par des partenaires industriels. On peut noter les soutenance récentes ou à venir de :

- Daniel Vert – CEA (soutenance fin 2021)
- Margarita Veshchezerova – EDF (soutenance fin 2022)
- Une thèse CIFRE démarrée en septembre 2021 entre d'une part le LIRMM et la SNCF sur des problématiques de transport devrait donner lieu à une soutenance en 2024.

Aux journées quantiques du GTROQ à Clermont-Ferrand, qui ont eu lieu du 12-13 mai 2022, https://perso.isima.fr/~lacomme/GT2L/journee_quantique.php il y a eu des présentations autour des applications du quantique à la recherche opérationnelle.



Le GDR RO a créé un groupe de travail prospectif sur la Recherche Opérationnelle quantique avec comme objectif de dynamiser la communauté.

Les objectifs du GT ROQ sont multiples :

- explorer les opportunités qu'apporte la programmation quantique pour des problèmes de RO ;
- initier les collègues et former une communauté de spécialistes RO capables de "penser" et programmer quantique ;
- monter des projets en lien avec l'optimisation quantique ;
- diffuser les compétences fortes sur nos problèmes de prédilection auprès des informaticiens quantiques pour ne pas repartir de zéro sur ces thématiques.

Les actions passées et futures du GT ROQ :

- La mobilisation de la communauté nationale autour de la RO quantique :
 - une session à la conférence nationale organisée à la ROADEF, à Mulhouse en avril 2021 ;
 - plusieurs sessions à ROADEF de Lyon en 2022 ;
 - une école à Montpellier qui a réuni 60 personnes en novembre 2021 ; https://perso.isima.fr/~lacomme/GT2L/accueil_quantique.php
 - une réunion de travail à Clermont-Ferrand au mois de mai 2022. https://perso.isima.fr/~lacomme/GT2L/journee_quantique.php
- La mobilisation de la communauté européenne autour de la RO quantique : une session à la conférence EURO à ESPOO, FINLAND en juillet 2022.

UN NOUVEL ÉVÉNEMENT EN 2023

Dans l'optique de relever en partie les challenges énoncés précédemment, plusieurs actions sont envisagées, comme un événement international de diffusion et formation, et des projets collaboratifs.

Le prochain événement est prévu du 17 au 21 avril 2023 à Troyes et sera d'envergure internationale, sous la supervision double de EUME (groupe de travail dédié aux méta-heuristiques au sein de l'association européenne de Recherche Opérationnelle – EURO) et du GT2L pour la partie conférence, et du GT ROQ pour la partie "école".

L'ambition est d'attirer au niveau international entre 60 et 80 participants, qui seront essentiellement des enseignants-chercheurs de renommée internationale et des doctorants, mais il n'est pas exclu d'accueillir des industriels et des étudiants.

► Les profils attendus sont :

- Des spécialistes en RO classiques qui viendraient présenter leurs travaux sur les nouvelles approches de résolution (dont quantique), et profiter de l'occasion pour promouvoir et initier les informaticiens à la programmation quantique ;

Le GDR RO accueillera Anita Schöbel qui sera en avril 2023 à la présidence d'EURO.

- Des spécialistes en programmation quantique qui pourraient s'inspirer des techniques d'optimisation combinatoire pour le développement de nouveaux algorithmes quantiques, sans repartir de zéro sur les thématiques RO.

Pour cela, il est prévu une organisation autour de trois composants :

- Des conférences centrées sur les dernières avancées en matière de méta-heuristiques notamment les méthodes basées sur les nouveaux paradigmes apportés par l'informatique quantique. Cette partie supervisée par EUME et le GT2L

Depuis plus de deux décennies, EUME organise un Congrès européen annuel sur les méta-heuristiques (EU/Meeting) dans une ville européenne. L'objectif de cette 21^{ème} édition est de réunir des spécialistes du domaine de l'optimisation, et de leur permettre de présenter leurs dernières avancées en termes de méthodes de résolution de type méta-heu-

tutoriels d'initiation seront proposés afin de suivre correctement la session dédiée aux conférences sur la présentation de travaux basés sur les algorithmes quantiques. Parmi les intervenants on retrouve Christophe Couteau (du L2N Troyes) et Simon Perdrix (du LORIA, Nancy).

Un panorama des initiatives quantiques sera également exposé.

- Une école (incluant des travaux pratiques) sur l'optimisation quantique, partie supervisée par le GT ROQ ; L'école se concentre spécifiquement sur les "métaheuristiques" quantiques, y compris, mais sans s'y limiter, QAOA et l'optimisation adiabatique.

L'école est dédiée aux chercheurs et doctorants qui souhaitent découvrir la théorie quantique avec des applications à des problèmes très concrets comme par exemple la coloration de graphe, SAT et/ou TSP.

ET L'ENSEIGNEMENT DU QUANTIQUE ?

Nos unités d'enseignement ne sont pas oubliées dans les plans gouvernementaux puisque le gouvernement recommande que les formations en master et informatique proposent 6 ECTS sur l'informatique quantique (cf. Figure 6).

5. Conclusion

Les plans portés au niveau national donnent au quantique une bonne visibilité et couvrent un large panel de domaines. Des entités pédagogiques et de recherche se sont

V.4.2. Développement des compétences

Proposition 20 Inclure 6 ECTS¹⁷ d'algorithmie quantique dans les vingt principaux cycles d'ingénieurs et masters en informatique et 4 ECTS de cryptographie post-quantique et quantique dans les masters de cryptographie.

Sans vouloir faire de tous les ingénieurs et diplômés de masters informatiques des experts de l'informatique quantique ou de tous les cryptographes des experts de la cryptographie post-quantique et quantique, que l'actuel marché de l'emploi n'est de toute manière pas en mesure d'absorber, une introduction à ces disciplines dans les principaux parcours de formation en informatique et en cryptographie s'impose. En effet, bien que ces disciplines soient naissantes, on observe dès à présent une difficulté de recrutements dans les entreprises qui souhaitent s'investir dans ces technologies aussi bien sur le plan du développement technologique que sur le plan de l'usage.

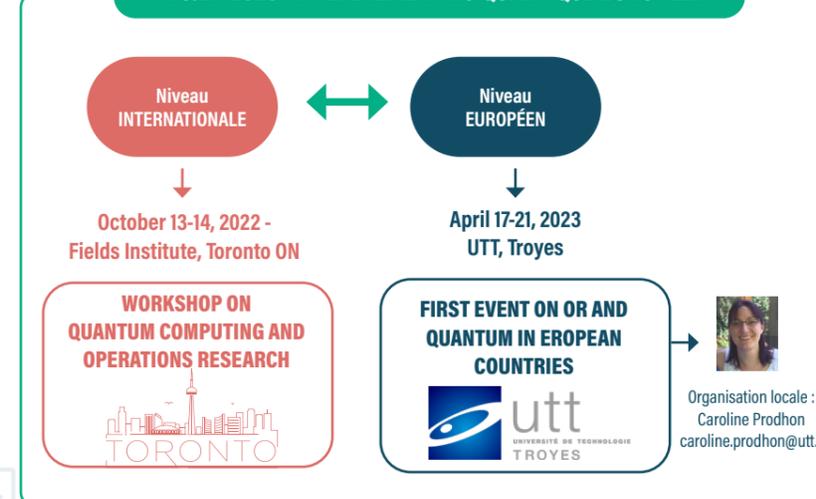
Figure 6. Extrait du rapport de janvier 2020 : "37 PROPOSITIONS POUR UNE STRATÉGIE NATIONALE AMBITIEUSE"

déjà positionnées sur le sujet.

Le quantique soulève de nouvelles questions dont les réponses dépendent fortement des évolutions technologiques que les constructeurs de machines quantiques résoudront dans l'avenir.

Il est difficile de dire si les technologies "à venir" tiendront leurs promesses mais en tout état de cause, s'approprier les outils du quantique pour la Recherche Opérationnelle est une tâche intéressante pour les chercheurs, nous obligeant à repenser notre manière de modéliser et de résoudre bon nombre de problèmes qui nous sont familiers.

PROJET 2023 : 1^{ER} ÉVÉNEMENT RO QUANTIQUE EUROPÉEN



Références

- Grover L. K., *A fast quantum mechanical algorithm for database search*. Proceedings 28th Annual Symposium on the Theory of Computing (STOC) 1996, pp. 212-219. <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9605043>.
- Shor Peter W., *Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer*. <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9508027>.
- John Preskill, *Quantum computing 40 years later*. <https://arxiv.org/abs/2106.10522>.
- Bourreau E., G. Fleury et P. Lacomme. *Introduction à l'informatique quantique*. Eyrolles. Date Parution: 07/04/2022. 506 pages. ISBN: 2416006533.

ristique ainsi que de donner des tutoriels sur des sujets spécifiques.

Plusieurs sessions sont déjà planifiées dont une session organisée par le GT ROSA, une par le GT META et une autre par le GT Origin. Un appel pour proposer des sessions et des articles devrait avoir lieu rapidement.

- Des tutoriels sur les méta-heuristiques et l'informatique quantique, partie supervisée par EUME/GT2L et le GT ROQ ; L'événement inclura entre-autre deux conférences plénières sur les métaheuristiques. On retrouvera par exemple Eric Taillard (Prof. à HEIG-VD - Suisse) et Jin Kao Hao (Prof. au LERIA - Angers).

L'événement est soutenu par EURO et accueillera Anita Schöbel qui sera en avril 2023 à la présidence d'EURO. Le GDR RO qui est fortement impliqué par l'intermédiaire des différents GTs sera représenté par Ch. Artigues.

De plus, la majorité de la communauté RO n'étant pas ou peu formée à la programmation quantique, plusieurs



Daniel Vert a montré comment exprimer un problème de couplage sous la forme d'un QUBO, qui est la seule expression acceptée par les machines quantiques abstraites de type D-Wave. Il a ensuite comparé les résultats obtenus avec les résultats d'autres solveurs "non" quantiques.

<https://www.youtube.com/watch?v=Rctk7iPIRS0>



Margarita Veshcheze et Marc Pocheron ont abordé la modélisation de deux problèmes d'ordonnement dans le domaine du "Smart-charging" de véhicules électriques. La résolution est faite par un algorithme de type (QAOA).

<https://www.youtube.com/watch?v=6na6w7vb18k>

Vie du GDR RO

..... Par Christian Artigues, Nadia Brauner et Pierre Fouilhoux

Une année riche d'événements !



L'année 2022 a été riche en événements organisés ou cofinancés par le Groupement de Recherche « Recherche Opérationnelle ». Après deux années à régime perturbé par l'épidémie, les chercheurs de la communauté ont vraisemblablement pris plaisir à se retrouver, à commencer par le maintien ou le retour des événements phares en présentiel ou hybride organisés par le GDR RO :

- **LA JOURNÉE DU GDR À ROADEF 2022 LYON** : près de 570 personnes inscrites à ROADEF ont pu assister à la journée du GDR le 24 février. En plus de l'assemblée générale du GDR RO qui a rappelé le bilan de l'année 2021 et les projets 2022, deux événements majeurs sont désormais traditionnellement organisés. Les tutoriels du GDR sont l'occasion pour les jeunes et les moins jeunes chercheurs d'avoir une présentation didactique d'une thématique ciblée sur l'un des axes et des actions transverses du GDR :
 - **axe Complexité**, Approximation et Graphes pour la Décision et l'Optimisation (CAGDO) : *Learning-Augmented Online Algorithms* - Bertrand Simon
 - **axe Décision**, Modélisation, Evaluation, Incertitude (DMEI) et action transverse DAAO (Données, Apprentissage Automatique et Optimisation) : *Online learning in multi-agent systems: Regret, equilibrium, and the road ahead* - Panayotis Mertikopoulos
 - **axe Méthodes Hybrides**, (Méta)Heuristiques, Programmation Par Contraintes (MH2PPC) : *About Modeling and Solving Combinatorial Constrained Problems (in Python)* Christophe Lecoutre
 - **axe Optimisation Mathématique / Optimisation Combinatoire et Programmation en Nombres Entiers (OM/OCPE)** : *The power of non-robust cuts in branch-cut-and-price algorithms* - Ruslan Sadykov
 - **axe Optimisation Mathématique / Programmation Mathématique Non Linéaire (OM/PMNL)** : *The Christoffel-Darboux Kernel for Data Analysis* - Jean-Bernard Lasserre
 - **axe Ordonnement, Planification et Applications (OPA)** : *The Longest Processing Time rule for identical parallel machines revisited* - Federico Della Croce
 - **axe Réseaux, Energie, Services, Transport (REST)** : *Méthodes d'optimisation convexe non différentiable* - Adam Ouorou

- **LES SESSIONS DU GDR À ROADEF 2022** : Les axes groupes de travail et actions transverses du GDR ont organisé 29 sessions à ROADEF 2022 en février à Lyon. Certaines sessions témoignent d'interactions fructueuses comme la session *Programmation Stochastique* du GT COSMOS¹ et de l'action transverse DAAO², la session *Transport et logistique en santé* des GT ROSA³ et GT2L⁴, la session *Optimisation dans les réseaux de télécommunication intelligents* du GT OR⁵ et du GDR RSD⁶, la session *Programmation par contraintes et intelligence artificielle* du GT ROCT⁷ et de l'AFIA⁸.
- **LE FORUM** : Le GDR a organisé pour la troisième fois en novembre un forum en ligne avec l'outil Gathertown. L'objectif premier était de permettre aux jeunes chercheurs (doctorants, post-doc...) et futurs jeunes chercheurs (Master 2...) d'échanger avec des praticiens de la RO sur leurs pratiques et sur leurs propositions éventuelles d'emplois ou de stages. Mais toutes les personnes intéressées pouvaient s'inscrire. 14 stands ont été proposés avec plus de 107 participants. Un sondage réalisé à la fin de l'événement plébiscite sa reconduction l'année prochaine.
- **LA JOURNÉE INDUSTRIELLE** : 2022 a consacré le retour des journées industrielles, organisées en novembre à l'ENSAM, Paris, avec le GDR MACS⁹ sur le thème «Modélisation, Optimisation et Aide à la Décision dans l'Industrie du Futur» avec la participation des sociétés Dassault Systèmes, Toshiba, Square, RENAULT et aussi des académiques : INSA de Lyon et Arts et Métiers. Pas moins de 106 participants ont pu mesurer les interactions entre la RO, l'aide à la décision et l'industrie 4.0 autour des thèmes du jumeau numérique, de la transformation numérique, de la chaîne logistique.
- **L'ÉCOLE JEUNES CHERCHEURS** : Le GDR RO a organisé en décembre 2022 à l'Université d'Avignon son école annuelle Jeunes Chercheurs sur le thème de l'optimisation robuste. 40 doctorants ont pu bénéficier sur 3 jours des interventions de Boris Detienne, Ayse Nur Arslan et Marc Goerigk.

- 1 Contrôle et Optimisation Stochastique, Modélisation et Simulation (axe DMEI)
- 2 Données, Apprentissage Automatique pour l'Optimisation
- 3 RO et Santé (axe REST)
- 4 Transport et Logistique (axe REST)
- 5 Optimisation dans les Réseaux (axe REST)
- 6 Réseaux et Systèmes Distribués
- 7 RO et Contraintes (axe MH2PPC)
- 8 Association Française d'Intelligence Artificielle
- 9 Modélisation, analyse et conduite des systèmes dynamiques

Le second événement organisé par le GDR lors de cette journée est la série d'exposés sur les retours d'expérience industrielle de mise en place d'un projet de RO, de création de département RO dans une grande entreprise, de lancement d'une startup en RO. Nous avons ainsi pu bénéficier du partage des expériences des sociétés OptiWise + Sia Partners sur l'Optimisation du raccordement de projet Biométhanés au réseau gazier Français par Alexandre Orhan, de RENAULT sur la Recherche opérationnelle : applications dans les ateliers de production par Alain Nguyen, de Eurodécision sur la Planification nominative de petites équipes d'employés travaillant dans des magasins de produits cosmétiques pour la coiffure par Aurélie Schweitzer et Frédéric Fabien, de Probayes sur l'Optimisation tactique de réseaux de transport par Sylvain Ducommun, Nathalie Herr, Nicolas Teypez.

- Les événements des axes, groupes de travail et actions transverses : Au-delà de ces événements phares, les groupes de travail, les axes et les actions transverses ont organisé ou co-organisé 26 événements ciblés sur leurs thématiques. Ne pouvant lister ici tous ces événements, nous insistons sur les événements co-organisés : la journée commune aux GT SCALE10 et GOTHAI1 à l'ENS Lyon en avril, un workshop sur le problème Inventory Routing (axe REST et ROADEF) au CERMICS en mai, une session Metaheuristiques et IA (GT META, axe MH2PPC et SAGI12 en juin à Bidart, la journée Optimisation sous incertitude dans les domaines des réseaux, de l'énergie, de la santé et des transports (action transverse DOR13 et axe REST) en octobre à Gif-sur-Yvette, la journée Optimisation et algorithmes pour les réseaux (GT OR, axe REST et GDR RSD), les Journées Graphes et Algorithmes 2022 (axe CAGDO et GDR IM14) en novembre à Paris, la journée RO et Décision sur les enjeux en environnement et société portée par le nouveau groupe de travail ROES15 en collaboration avec la GDR IA en novembre à Lyon, les Journées sur la Recherche en Apprentissage Frugal (action transverse ROSN16 et MIAI17 Grenoble Alpes), les journées du groupe de travail Optimisation pour les Systèmes Intégrés (OSI, axe OPA) avec le GDR SOC218 en décembre à Paris.

Des actions pour les jeunes !

- Outre les 8 tutoriels en février à Lyon, le forum emploi en novembre online et l'École des Jeunes Chercheurs du GDR en décembre à Avignon (présentés ci-dessus), le GDR s'est mobilisé en faveur des jeunes chercheurs avec les actions suivantes :
- **Les aides à la mobilité** (Internationale ou nationale), réservées aux doctorants, avec un processus de sélection sur dossier, ont cofinancé les missions de **Amna Altaf**, LGI2A vers la NUST University au Pakistan, de **Diego Perdigo Martino** du LIMOS vers l'University of Modena and Reggio Emilia en Italie et de **Guillaume Joubert** (Heudiasyc) vers le LIFAT à Tours.
 - **La Journée des doctorants de l'axe REST** a été organisée à Gif-sur-Yvette en octobre avec 6 exposés de doctorants et une présentation des métiers de la recherche.
 - **Le prix de la meilleure thèse en Transport et Logistique** (Axe REST/ GT2L) 2022 a été lancé avec une date limite de candidature au 31 décembre 2022 pour une thèse soutenue entre janvier 2021 et décembre 2022.

Veille scientifique et structuration de la RO

En plus de l'animation scientifique, les GDR sont dotés de missions de veille scientifique et de structuration. Le GDR RO invite ainsi tous les chercheurs en RO académiques ou industriels, doctorants, post-doctorants ou permanents de s'inscrire sur le site mygdr (<https://mygdr.hosted.lip6.fr/>) pour un recensement thématique et géographique de notre discipline. Par ailleurs, un document de prospective produit en 2022 à la demande du CNRS est disponible sur le site du GDR et contient l'ébauche de réflexions me-

- 10 Scheduling for computing architecture and low Energy (axe OPA)
- 11 Groupement pour l'ordonnement théorique et appliqué (axe OPA)
- 12 Société d'Automatique de Génie Industriel et de Productique
- 13 Décision et Optimisation robuste
- 14 Informatique Mathématiques
- 15 RO, Environnement et Société, Axe Veille Stratégique et Actions Transverses
- 16 RO et Sobriété numérique
- 17 Multidisciplinary Institute in Artificial Intelligence}
- 18 System on Chip - Systèmes Embarqués et Objets Connectés

nées par les axes et actions transverses autour des évolutions de la discipline. Mentionnons les interactions entre apprentissage et optimisation, les avancées théoriques sur les «width parameters» des graphes planaires, sur l'approximation du TSP, le passage à l'échelle en programmation mathématique non-linéaire et/ou en nombres entiers ainsi qu'en optimisation robuste avec recours entiers. Il mentionne des thématiques prioritaires comme la prise de décision collective sur les problèmes combinatoires via le choix social computationnel, l'élicitation adaptative des préférences, les problèmes de découverte d'information en optimisation sous incertitude. Enfin des thématiques émergentes en informatique quantique pour l'algorithmique de l'optimisation et dans l'intersection de la théorie des jeux, de l'apprentissage multi-agent et de l'optimisation pour des systèmes complexes dynamiques sont évoquées. De plus, une réflexion est menée sur les enjeux sociétaux de la RO.

Ça bouge au GDR !

De ces réflexions prospectives émergent en effet de nouveaux enjeux pour l'optimisation et l'aide à la décision menant à la création de nouveaux groupes de travail au sein de l'axe VSAT:

Sur la constatation de l'impact potentiel de la RO dans les enjeux sociétaux, il a été mis en avant l'importance des aspects environnementaux et des recherches déjà existantes menées dans la communauté sur ce sujet. Dans la volonté de structurer la communauté et d'identifier des défis et actions concrètes, est né le nouveau groupe de travail RO, Environnement et Société (ROES) avec une journée organisée en novembre à Lyon (*voir ci-dessus*).

Déjà existante en 2021 sous la forme d'une action spécifique ayant donné lieu à une table ronde lors de la journée du GDR en avril 2021, à la mise à disposition de ressources sur le site du GDR et à une journée d'exposés en novembre 2021, la thématique "éthique" évolue en groupe de travail RO et Éthique (ROET). La motivation est qu'au-delà d'une préoccupation transverse et sociétale, des recherches spécifiques sont menées. Les premières actions du nouveau GT sont l'organisation d'une session à ROADEF 2023 et l'organisation de l'École jeunes chercheurs "Responsabilité des algorithmes" des GDR RO et IA à Aussois en mai 2023.

Suite à l'intérêt suscité par l'École "Approche quantique pour une nouvelle RO ?!" de Novembre 2021 à Montpellier, le conseil scientifique du GDR a validé en février la création d'un GT "Recherche Opérationnelle Quantique" (ROQ) à vocation prospective. Le GT a organisé une journée d'exposés et de Code Sharing à Clermont-Ferrand le 12 mai 2022. Une École sera organisée à Troyes en avril 2023.

Changement de nom

Un dernier point d'importance, le conseil scientifique a choisi de demander un changement du nom de notre GDR, pour plus de lisibilité auprès du public et mieux traduire la diversité de nos thématiques : le GDR RO sera alors le GDR ROD «Recherche Opérationnelle et Décision».

POUR RETROUVER TOUTES LES INFORMATIONS SUR LE SITE DU GDR
► <http://gdrro.lip6.fr>

Pour s'inscrire à la liste de diffusion gdrro@services.cnrs.fr
► <https://listes.services.cnrs.fr/www/info/gdrro>

Faites-vous recenser comme membre de la communauté RO
► <https://mygdr.hosted.lip6.fr/> Congrès de la ROADEF

Congrès de la ROADEF

Ce qu'il faut retenir du 23^{ème} congrès de la ROADEF de Lyon les 23-25 février 2022

..... Pour le comité d'organisation Khaled Hadj-Hamou

Un congrès entièrement en présentiel. Après avoir été contraints en 2021 de basculer entièrement en ligne la 22^{ème} édition organisée par nos amis de Mulhouse, nous nous sommes engagés à retenir pour 2022 un format entièrement en présentiel. L'incertitude demeurait très forte mais nous avons gardé un état d'esprit positif et étions conscients qu'il serait compliqué de basculer en distanciel pour des raisons logistiques et financières. Nous profitons de cette tribune pour présenter quelques moments et chiffres qui auront marqué cette édition.



Une très forte mobilisation.

Avec plus de **570 participants**, le congrès de Lyon a constitué un moment de mobilisation très important pour la communauté Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision. Nous remercions bien sincèrement le bureau de la ROADEF et en particulier le président François Clautiaux de nous avoir offert cette opportunité. Ils nous ont démontré leur confiance et leur appui pour la réussite de l'événement. Malgré les incertitudes liées à la crise sanitaire nous avons, avec enthousiasme et beaucoup de détermination, relevé le défi de maintenir le congrès en total présentiel.

Un programme scientifique varié et ouvert.

Le congrès a mis un coup de projecteur sur les liens entre la RO et les enjeux sociétaux, environnementaux et numériques. Parmi les présentations qui ont jalonné les trois jours du congrès, voici quelques éléments de synthèse. Christine Solnon de l'INSA Lyon a ouvert la première conférence plénière sur les approches récentes d'optimisation de tournées de véhicules en distribution urbaine avec prise en compte des conditions de circulation. Le lendemain, Stefan Nickel de Karlsruhe IT, a présenté l'apport de la RO pour résoudre les problèmes de logistique moderne et a introduit la notion d'optimalité dans des environnements dynamiques et incertains. Enfin, Denis Trystram de Grenoble INP a discuté vendredi matin du problème de l'impact des calculs numériques volumineux sur le réchauffement climatique.

A cela, et grâce à la mobilisation des responsables d'axes du GdR RO, s'ajoutent 8 tutoriels et 2 sessions de retours d'expérience industriels. Les liens des vidéos sont accessibles sur le site du congrès.

<https://roadef2022.sciencesconf.org>

Le programme scientifique est structuré en 39 thématiques. Nous avons programmé les 312 présentations en 82 sessions parallèles auxquelles il faut ajouter 4 sessions spéciales pour les prix des meilleurs mémoire master et article étudiant. L'ensemble des résumés a été expertisé par plus de 180 relecteurs. Nous saluons sincèrement le comité scientifique en particulier le GdR RO pour sa mobilisation et pour la richesse du programme scientifique.



Un large soutien

Nous remercions amplement les sponsors pour leur soutien : entreprises (Localsolver, Artelys, Total Energies, Addinsoft, Gurobi, RTE, Savoye, Huawei, SNCF, Decision Brain, RENAULT Group, Orange, Eurodecision) et institutions (Labos DISP et CITI, INSA Lyon, Univ. Lyon, Labex IMU, Féd. Ingélyse, GdRs RSD et MACS). Comme à chaque édition, les assemblées générales de la ROADEF et du GdR RO se sont tenues le jeudi après-midi. Lors de l'AG de la ROADEF, Adèle Pass-Laneau et Antoine Oustry se sont vus remettre le prix du meilleur article étudiant. Présent à l'AG, Nadjib Brahimi a annoncé l'accueil du prochain congrès par Rennes School of Business : cap sur la Bretagne en 2023 !

Un programme social mémorable

Le soleil était au rendez-vous les trois jours de la conférence et oh ! combien ce fut agréable de se retrouver pour les pauses café/gouter à l'extérieur sur le parvis de l'amphi fraîchement aménagé. Ces conditions ont permis également d'éviter la promiscuité engendrant des risques de contamination. Le mercredi soir, nous nous sommes retrouvés nombreux pour un cocktail de bienvenue sur la péniche **La Plateforme**, un ancien pétrolier fluvial. Nous avons pu découvrir l'ambiance des berges du Rhône au cœur de la capitale des gaules. Le lendemain soir, nous avons été accueillis sous le chapiteau baroque du Cirque Imagine pour un dîner-spectacle mêlant subtilement cabaret et arts du cirque dans un décor chaleureux et raffiné. Ce fut l'occasion de décerner, pendant les entractes, plusieurs prix : Axel Parmentier a reçu le premier prix Robert Faure, Amélie Lambert et Aysel Nur Arslan ont complété le podium ; Louis Penz et Louis Bouvier ont reçu le prix de mémoire de master ; le prix scientifique du challenge ROADEF organisé par RTE a été attribué à Diego Cattaruzza et al. Michel Vasquez et Mirsad Buljubasic remportent ce challenge et Marco Langiu le prix de la meilleure équipe junior. Moment d'émotion lorsque la présence de Marie-Claude Portmann, invitée spéciale du congrès, a été révélée. Pour les plus jeunes, Marie-Claude est la première présidente de la société ROADEF. Enfin, standing ovation pour toute l'équipe d'organisation invitée à monter sur cette belle scène : tous unanimes, un challenge mais une fierté pour eux de réunir notre belle communauté.



Le congrès ROADEF 2023 à Rennes : Soyez nombreux le 20-23 février !

Pour le comité d'organisation, Nadjib Brahimi

Le 24^{ème} Congrès national de la Recherche Opérationnelle et de l'Aide à la Décision sera organisé cette année par Rennes School of Business, dans son campus, avec le soutien de collègues de l'IMT Atlantique et de l'IGR-IAE. C'est encore une fois l'occasion, pour la communauté de la ROADEF, de se rassembler et prendre plaisir aux échanges entre étudiants, industriels, chercheurs confirmés et jeunes. La conférence a déjà reçu le soutien de plusieurs sponsors (LocalSolver, Artelys, FICO, TotalEnergies, RTE, Gurobi, DecisionBrain, ENGIE, SNCF, Eurodecision).

En plus des thèmes traditionnels de la recherche opérationnelle (optimisation combinatoire, génie industriel, logistique, simulation à événements discrets, etc.), seront abordés des sujets d'actualité tels que l'éthique et l'environnement et leurs liens avec les systèmes d'aide à la décision et la recherche opérationnelle.

CE 24^{ème} CONGRÈS DE LA ROADEF PROPOSERA UN PROGRAMME TRÈS RICHE :

- Sessions plénières et Tutoriels
- Prix du Meilleur Article Étudiant
- Assemblée Générale de la ROADEF
- Réunion annuelle du GDR RO



Bloquez dès maintenant les dates, et venez nombreux ! Toutes les informations sont sur le site de la conférence ► <https://roadef2023.sciencesconf.org>

Compte rendu de la première Journée organisée en partenariat avec Chaire Industrial Data Analytics and Machine Learning et ENSIIE

..... Pour le comité d'organisation, Zacharie ALES, Sonia TOUBALINE, Emiliano TRAVERSI et Dimitri WATEL



Cette édition des Journées Franciliennes de Recherche Opérationnelle s'est déroulée le 10 février 2022 à l'ENSIIE. La journée était accessible par visio- conférence. Elle avait pour thème « Informatique quantique ». Cinq orateurs y ont participé pour un public de 74 participants. Cette journée a été coorganisée avec Mathilde Mougeot (Chaire Industrial Data Analytics and Machine Learning) et Catherine Dubois (ENSIIE).

Le premier exposé a été donné par **Olivier Hess** (Atos Quantum Computing France) qui a effectué un tutoriel sur le sujet de l'informatique quantique. Il a ainsi rappelé les bases de l'informatique quantique avant d'effectuer un état de l'art des développements actuels, des applications potentielles et des algorithmes principalement utilisés.

L'après-midi a débuté par un exposé de **Jacques-Charles Lafoucrière** (CEA) qui a détaillé l'architecture d'un centre de calcul quantique avant d'en exposer les usages envisagés ainsi que les problématiques qui en découlent.

Camille Grange (LIRMM - SNCF) a ensuite présenté les deux principales heuristiques quantiques traitant des problèmes combinatoires (Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) et Quantum Annealing) ainsi que l'algorithme exact de recherche de Grover. Elle a illustré ces différents algorithmes sur un exemple de plan de transport simplifié.

La présentation suivante a été effectuée par **Simon Apers** (CNRS - IRIF). Il a décrit l'utilité et les limitations des algorithmes quantiques pour la résolution de problèmes combinatoires en les illustrant par le problème de coupe minimale dans un graphe.

Le dernier exposé a été effectué par **Andrea Simonetto** (ENSTA Paris - UMA). Il a présenté les résultats que pourraient apporter les ordinateurs quantiques pour la résolution de problèmes de recherche opérationnelle dans le futur. Ceci a été illustré sur le problème d'isomorphisme de sous-graphes en montrant comment il pouvait être résolu par une méthode variationnelle basée sur des portes quantiques.

Les enregistrements vidéo des exposés de cette journée ainsi que les supports de présentation sont en ligne sur le site des JFRO.



ActuROAD ROADEF Résultats des élections du bureau 2022-2024

La liste de 8 personnes présentées a été élue à la suite des votes des adhérents. 106 votants se sont exprimés lors des élections pour le renouvellement du bureau. Les résultats du vote électronique sont : 102 voix pour la liste de **Sandra Ulrich Ngueveu (96.23 %)** et 4 bulletins blanc (3.77 %).

Composition de la liste élue



NABIL ABSI est professeur à l'École des Mines de Saint-Etienne (Campus Georges Charpak Provence à Gardanne), membre de l'UMR CNRS LIMOS et responsable du département Sciences de la Fabrication et Logistique. Il co-anime l'Axe OPA « Ordonnancement, Planification & Applications » du GdR Recherche Opérationnelle. Il co-anime également le Groupe de Travail P2LS « Planification de la Production et Lot-Sizing » de l'axe OPA. Ses travaux de recherche portent sur la modélisation et la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire en lien avec la production, le transport et la logistique.



AMÉLIE LAMBERT est maître de conférences au Conservatoire National des Arts et Métiers depuis 2010. Elle est membre et directrice adjointe du laboratoire Cédric (Centre d'études et de recherche en informatique et communications). Elle co-anime l'axe Programmation Mathématique non-linéaire (PMNL) du GdR Recherche Opérationnelle du CNRS. Ses recherches portent sur la résolution de problèmes d'optimisation non-linéaire, à la fois sur les aspects académiques et appliqués.



SANDRA ULRICH NGUEVEU est maître de conférences à l'Institut National Polytechnique de Toulouse (INPT) depuis 2010 et membre du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS). Ses travaux de recherche portent sur l'optimisation combinatoire et l'optimisation non linéaire en nombres entiers avec des applications en énergie et transport. Elle est correspondante pour l'INPT du parcours Recherche Opérationnelle du Master 2 Informatique de Toulouse et co-responsable de l'axe « Réseaux, Énergie, Services, Transport » du GdR Recherche Opérationnelle. Elle a été Membre du jury du meilleur mémoire de Master en 2017 et secrétaire du Bureau ROADEF 2020-2022.



BRICE MAYAG est Maître de Conférences à l'Université Paris Dauphine, membre du LAMSADE (Laboratoire d'Analyse et Modélisation de Systèmes pour l'Aide à la Décision) et responsable, depuis septembre 2013, de la Licence informatique, voie classique. Ses thèmes de recherche portent sur l'Aide à la Décision : modélisation des préférences, fonctions d'agrégation non additives, application de l'analyse multicritère dans le domaine de la santé.



ALAIN NGUYEN est ingénieur chez RENAULT, où il anime un pôle d'optimisation, qui oeuvre pour les différents secteurs de l'entreprise. Il a été nommé expert optimisation en 2018. Il a maintenu un lien constant avec la ROADEF, au travers de participations et présentations au congrès, de l'animation du challenge 2005, de contributions dans le livre blanc de la RO, ou encore en tant que membre du jury Robert Faure en 2006, du jury de présélection des pros de la RO en 2015 et du jury du meilleur mémoire de Master en 2019.



RONAN BOCQUILLON est Maître de Conférences à l'Université de Tours depuis 2017. Il est membre du LIFAT (Laboratoire d'Informatique Fondamentale et Appliquée de Tours) et enseigne à Polytech Tours. Ses recherches relèvent de l'optimisation combinatoire et s'appliquent notamment aux domaines des réseaux de télécommunication, de la bioinformatique, de l'ordonnancement et de la gestion de projet.



LUCILE BRETHOMÉ est ingénieure au RICE (Research and Innovation Center for Energy) de GRTgaz depuis 2018. Elle maintient un lien constant avec la ROADEF, au travers de participations et de présentations au congrès annuel. Ses travaux portent sur la modélisation et l'optimisation des réseaux de gaz.



OLIVIER PÉTON est professeur à IMT Atlantique. Il est membre du Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N) et responsable de l'équipe de recherche modelis (Modélisation, Optimisation et DEcision pour la Logistique, l'Industrie et les Services). Ses travaux de recherche portent sur la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire dans le domaine du transport et des chaînes logistiques. Il a été coordinateur du groupe de recherche de l'EURO sur les problèmes de localisation (EWGLA) de 2015 à 2019 et est éditeur associé du EURO Journal on Transportation and Logistics (EJTL).



Le bureau élu est composé de : **Sandra Ulrich Ngueveu**, Présidente. Continuent sur leur poste **Alain Nguyen** (RENAULT S.A., Paris) au poste de chargé de mission à la promotion, **Ronan Bocquillon** (LIFAT, Tours) au poste de vice-président en charge de l'administration du site web, et **Brice Mayag** (LAMSADE, Paris) au poste de vice-président en charge du bulletin. L'équipe est renforcée avec 4 nouveaux entrants **Nabil Absi** (LIMOS, Mines Saint-Etienne) au poste de secrétaire, **Amélie Lambert** (CNAM, Paris) au poste de trésorière, **Lucile Brethomé** (GRTgaz) au poste de chargée de mission communication et **Olivier Péton** (IMT Atlantique, Nantes) au poste de vice-président en charge des relations extérieures.

Prix du Master 2021

Louise Penz et Louis Bouvier, co-lauréats du Prix de Master en RO/AD 2021

..... Pour le bureau de la ROADEF, Céline Gicquel et Olivier Péton

Le prix du mémoire de master RO/AD 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. Il permet également de faire connaître les formations dans nos disciplines et de favoriser les liens entre la ROADEF, les masters de RO/AD et l'industrie.

Ce jury a auditionné les 8 finalistes du prix en janvier 2022 et a sélectionné deux co-lauréats : **Louise Penz** (master ORCO, Grenoble) pour son mémoire intitulé *Scheduling Problems with Equipment Health Index* réalisé au sein du Centre Micro-électronique de Provence et **Louis Bouvier** (ENS Paris-Saclay), pour son mémoire intitulé *Large Neighborhood Search and Structured Prediction for the Inventory Routing Problem* réalisé au sein du laboratoire CERMICS. Le jury a été impressionné par la qualité du travail présenté, il a particulièrement apprécié le contenu scientifique du travail, la capacité à le présenter avec pédagogie et le degré de recul qui est apparu dans les réponses aux questions. Les 8 finalistes ont été invités à présenter leurs travaux à l'occasion de sessions spéciales lors de la conférence ROADEF 2022 au mois de février. Les deux co-lauréats ont été récompensés pendant la soirée de gala.



Pour l'édition 2021, le jury était constitué de 8 personnes :

- Nawal Benabbou, Sorbonne Université
- Lucile Brethomé, GRT Gaz
- Laurent Deroussi, Université Clermont Auvergne
- Julien Darlay, Localsolver
- Céline Gicquel, Université Paris Saclay
- Olivier Péton, IMT Atlantique
- Daniel Porumbel, CNAM



ROADEF/EURO Challenge 2022-2024

Problème de chargement de camions RENAULT Group

..... Par Eric Bourreau, Safia Kedad-Sidhoum, Eric Pinson et David Savourey



Le challenge ROADEF/EURO 2022-2024 est lancé depuis le 5 Juillet 2022. Le porteur industriel pour cette édition est le constructeur automobile RENAULT Group. Le problème porte sur l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement de RENAULT. Il s'agit d'optimiser le taux de remplissage des camions livrant des pièces, des fournisseurs aux clients, pour minimiser les coûts logistiques de transport et de stockage.

Ce problème s'apparente à un problème packing en recherche opérationnelle. Ce dernier est à trois dimensions et intègre de nombreuses contraintes additionnelles, de nature temporelle ou liées au placement des produits dans les camions (cf. l'article sur les applications de la recherche opérationnelle chez RENAULT, publié dans ce même numéro).

Le sujet a été présenté lors de la conférence internationale EURO 2022 qui s'est déroulée à Espoo du 3 au 6 Juillet 2022. Conjointement à la publication du sujet et des règles de fonctionnement de la compétition, un premier jeu d'instances a été mis à disposition ainsi qu'un vérificateur de solutions et un outil permettant de les visualiser. Ces outils ainsi que le sujet détaillé sont en ligne sur le site dédié à la compétition (<http://challenge.roadef.org>).

Le premier jalon de cette compétition a été marqué par la fin de la phase de sprint le 15 Octobre 2022. Les résultats ont été annoncés le 30 Octobre 2022. Les heureux vainqueurs de cette phase sont Guillaume Crognier et Victor Kani. Félicita-

tions à eux ! Ils recevront un prix de 2500 euros qui sera remis lors du congrès ROADEF 2023 qui aura lieu à Rennes du 20 au 23 Février 2023.

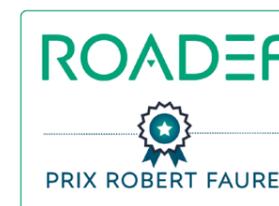
Le prochain point d'étape de la compétition est la fin de la phase de qualification fixée au 31 Janvier 2023. L'annonce des équipes qualifiées se fera lors du congrès ROADEF 2023 à Rennes.

Surveillez le site du challenge pour disposer de toutes les informations et actualités sur la compétition. challenge.roadef.org. La date limite pour vous y inscrire et y participer est le 31 janvier 2023 !

- **L'équipe Challenge ROADEF** : Eric Bourreau (LIRMM/UM), Safia Kedad-Sidhoum (CEDRIC/CNAM), Eric Pinson (LARIS/IMA) et David Savourey (HEUDIASYC/UTC).
- **L'équipe Challenge RENAULT Group** : Alain Nguyen, Mohamed-Amine Khatouf et Christian Serrano.

Prix Robert Faure 2022

..... Pour le bureau de la ROADEF, François Clautiaux



Le prix Robert Faure vise à encourager une contribution originale dans le domaine de la Recherche Opérationnelle et l'Aide à la Décision. Son nom est un hommage au Professeur Robert Faure, pionnier de la Recherche Opérationnelle en France. Une attention toute particulière est d'ailleurs accordée aux travaux qui allient le développement de méthodes théoriques aux applications, dans l'esprit des travaux de Robert Faure. Bravo aux trois lauréats !

Ce prix, très attendu au sein de la communauté Recherche Opérationnelle, se déroule en temps normal tous les trois ans. Exceptionnellement, en raison de la crise sanitaire, le bureau avait décidé, d'un commun accord avec le jury, de le repousser d'un an pour permettre aux candidat(e)s de pouvoir préparer leur candidature de manière plus sereine. Le bureau de la ROADEF a demandé à Dominique Feillet de présider le jury pour cette édition. Il était composé de membres reconnus de la communauté, avec un souci de parité et une couverture thématique la plus large possible. Le jury de l'édition 2022 était composé de Thierry Benoist (LocalSolver), Jean-Charles Billaut (Univ. Tours), Chengbin Chu (ESIEE), Emmanuel Hébrard (LAAS), Safia Kedad Sidhoum (CNAM), Ivana Ljubic (ESSEC), Marie-Ange Manier (UTBM), Alix Munier (LIP6), Nancy Perrot (Orange Labs), Gautier Stauffer (Kedge BS). Le jury a reçu les dossiers de huit candidat(e)s, dont trois femmes. Chaque candidat(e) a envoyé un document de synthèse présentant ses travaux les plus importants, en mettant en avant les qualités académiques du travail, ainsi que les applications industrielles ou sociales. Les membres du jury ont tenu à souligner la grande qualité des dossiers reçus. Les contributions scientifiques des trois lauréat(e)s du prix confirment d'ailleurs l'excellente tenue du concours.

LE PREMIER PRIX a été décerné à Axel Parmentier (Écoles des Ponts ParisTech). Ses travaux les plus remarquables concernent l'utilisation de techniques de machine learning pour approximer des instances de variantes difficiles de problèmes de RO par des instances du problème « facile ». Il a par ailleurs introduit un cadre algébrique s'appuyant sur la notion de monoïde ordonné comme un treillis dans

le cadre de la recherche de plus court chemin, ce qui permet le calcul et l'exploitation de bornes génériques sur les ressources, et d'accélérer les algorithmes pour les problèmes de plus court chemin contraints non-linéaires ou stochastiques. On notera aussi les applications de ses travaux pour des problèmes posés par Air France dans le cadre d'une chaire industrielle dont il est titulaire.

LE DEUXIÈME PRIX a été décerné à Amélie Lambert (CNAM). Ses travaux concernent principalement la recherche de méthodes exactes pour résoudre les problèmes d'optimisation non linéaire. Plusieurs algorithmes hiérarchiques reposant sur des relaxations quadratiques convexes (MIQCR) ont été développés. Le jury a apprécié la contribution au logiciel de résolution générique SMIQP (Solver of Mixed-Integer Quadratic Programs), et de plusieurs bibliothèques d'instances, en libre accès sur GitHub depuis 2020. Le jury a aussi noté les applications industrielles variées du travail (réseaux électriques, parcs éoliens, ...).

LE TROISIÈME PRIX a été décerné à Ayse Nur Arslan (INSA Rennes). Ses principales contributions portent sur le développement de résultats théoriques et méthodologiques en programmation linéaire en nombres entiers pour des problèmes déterministes ou stochastiques issus d'applications réelles. A partir d'analyses des structures mathématiques et polyédrales des modèles étudiés, différentes formulations et méthodes de résolution sont proposées sous-tendues par des mises en œuvre informatiques efficaces. Le jury a aussi noté les contributions récentes en optimisation robuste « two-stage » permettant d'améliorer les résultats de l'état de l'art pour la résolution d'une classe de problèmes difficiles.

Retour sur le Prix Indus'RO 2022

Pour le bureau de la ROADEF, Lucile Brethomé

Le 10 juin dernier, la ROADEF organisait sa soirée événement « prix Indus'RO » au Conservatoire National des Arts et Métiers pour remettre le prix du projet de RO/AD en entreprise. Trois projets avaient été sélectionnés par un jury, composé de :

- Sourour Eloumi (ENSTA)
- Meltem Ozturk (Université Paris-Dauphine)
- Michel Vasquez (Mines Ales)
- Xavier Gandibleux (Université de Nantes)
- Anna Robert (TotalEnergies)
- Marc Poujade (OPRED)

Une centaine de personnes étaient venues écouter les 3 projets industriels finalistes et élire le vainqueur. HESUS/LocalSolver a

d'abord présenté un logiciel d'aide à la décision, Hesus Dispatch, permettant d'optimiser le planning logistique quotidien pour le transport des terres excavées et des matériaux de construction, en diminuant les coûts de transport et l'empreinte carbone associée aux trajets des camions. Ensuite, EDF a présenté APOGENE, qui permet d'optimiser le programme d'appel, c'est-à-dire le planning de production de l'ensemble de ses centrales (environ 400 unités de production) pour le lendemain, à un pas de temps de 30 minutes, respectant les contraintes de fonctionnement de chaque moyen de production, tout en étant au plus près de la consommation électrique estimée pour le lendemain. Enfin, Decision-Brain a présenté un système



d'aide à la décision développé pour TDEM (Toyota Daihatsu Engineering and Manufacturing) afin d'optimiser la planification de la logistique entrante, en optimisant les itinéraires, le chargement des conteneurs et l'affectation des camions.

Le vote du public a désigné le projet APOGENE d'EDF comme le vainqueur de ce prix Indus'RO 2022.

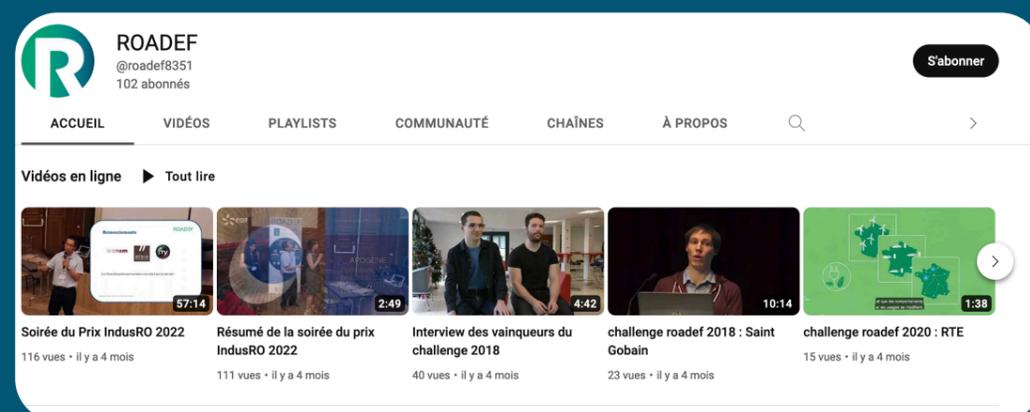
Nous félicitons chaleureusement les lauréats, et remercions les membres du jury et du comité d'organisation pour la réussite de cet événement !

La ROADEF lance sa chaîne Youtube !

Vous l'avez peut-être déjà remarquée : le congrès ROADEF 2022 a marqué la naissance de la chaîne youtube ROADEF.



Vous y retrouverez les vidéos de présentation des derniers challenges ROADEF, des témoignages d'industriels sur leur usage de la recherche opérationnelle, les retransmissions vidéo du dernier congrès ROADEF, ainsi que la soirée du prix Indus'RO.



N'hésitez pas à aller y faire un tour et à vous y abonner pour ne pas manquer les prochaines vidéos !

<https://www.youtube.com/@roadef8351>

DERNIERS ET PROCHAINS ÉVÉNEMENTS SOUTENUS ET SPONSORISÉS PAR LA ROADEF

Journées communes DOR/REST

Université Paris-Saclay
(du 12 au 13 octobre 2022)

15^e Conférence SUM

Workshop Robustesse 2021

Université Paris-Dauphine
(du 17 au 19 octobre 2022)

Open Journal of Mathematical Optimization

EURO Summer Institute on Location Science
(soutien à trois chercheurs juniors ROADEF)

Artificial Evolution Conference (EA'2022)

One-day workshop on the Inventory Routing Problem
(Ecole des Ponts Paristech | May 20, 2022)

Dataquitaine 2022

citROnnADe Énigme



Par Denis Cornaz

SUR SON LIT DE MORT, UN VIEUX PIRATE, BARBU, BORGNE, À JAMBE DE BOIS, TE TRANSMET LES COORDONNÉES DE L'ÎLE AU TRÉSOR AVEC LE MOYEN SUIVANT D'Y TROUVER L'ENDROIT PRÉCIS OÙ IL EST ENTERRÉ :

*«.. dans la plaine des singes, il n'y a qu'une potence et deux arbres, un cocotier et un bananier.
Pars de la potence vers le cocotier en comptant tes pas, une fois arrivé au cocotier, tourne à droite (à angle droit), marche la même distance et plante ton sabre dans le sol.
Retourne à la potence, marche vers le bananier en comptant tes pas, tourne à gauche (à angle droit), marche la même distance et pose ton mousquet par terre.
Le trésor est enterré, au milieu pile-poil, entre ton sabre et ton mousquet !
... seulement voilà, arrivé à la plaine des singes, tu constates que la potence a disparu sans laisser la moindre trace !! »*

EST-CE SI COMPLEXE DE TROUVER QUAND MÊME LE TRÉSOR ?

Solution Mots Croisés

(Bulletin OnTheROAD n°43)



D'après Bruno Escoffier

La solution de ce jeu sera disponible à l'adresse <http://www-desir.lip6.fr/~escoffier/bulletin/solution.pdf>

ADDINSOFT | DATA
SCIENCE
MADE
SIMPLE

 **Air Liquide**
creative oxygen

amanora
technologies

 **Artelys**
OPTIMIZATION SOLUTIONS

le cnam

 **DecisionBrain**
OPTIMIZATION FOR THE INTELLIGENT ENTERPRISE

 **edf**

 **EURODECISION**
ALGORITHMS FOR BUSINESS

 **G-SCOP**
SCIENCES POUR LA CONCEPTION,
L'OPTIMISATION ET LA PRODUCTION

 **GUROBI** | PREMIER
OPTIMIZATION PARTNER

 **HUAWEI**

 **heudiasyc**

**LAAS
CNRS**

LAMSADE
UMR CNRS 7243
laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision

LIFA EA 63 00
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE FONDAMENTALE ET APPLIQUÉE DE TROYES

LIMOS
0101010101010101

LIP

 **LocalSolver**

 **orange™**

SIAPARTNERS

SNCF

 **TotalEnergies**

LS2N LABORATOIRE
DES SCIENCES
DU NUMÉRIQUE
DE NANTES

 **utt**
UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE
TROYES

Toute l'actualité de la ROADEF et de ses partenaires se trouve sur Facebook, Twitter, LinkedIn et YouTube



YouTube

ROADEF

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