

International Postgraduate Program
MSc in Computer Science
Optimization in Operations Research

GRAPHES ET
PROGRAMMATION
MATHÉMATIQUE

INTELLIGENCE
COMPUTATIONNELLE

PROGRAMMATION
PAR CONTRAINTES

OPTIMISATION
MULTI-OBJECTIF

AIDE MULTICRITÈRE
À LA DÉCISION

OPTIMISATION
NON-LINÉAIRE

OPTIMISATION
DE LA SUPPLY-CHAIN

BIOINFORMATIQUE



sommaire



Mot de présentation

page 3



© PMK - Université de Nantes

Environnement de la formation :

présentation, contexte, objectifs,
adossés à la recherche,
soutiens industriels



page 4



Programme de la formation :

présentation du programme,
thèmes scientifiques principaux



page 14



L'étudiant et sa formation :

double diplôme, mobilité,
diplômés, distinctions

page 23





Dr. Xavier Gandibleux,
professeur, coordinateur
pour l'Université de Nantes



Dr. Bernard Fortz,
professeur, coordinateur pour
l'Université libre de Bruxelles



Dr. Fabien Lehuédé, chargé
de recherche, correspondant du master
pour l'École des mines de Nantes

Après avoir vu quatre promotions de diplômés, la formation de master en informatique « optimisation en recherche opérationnelle (ORO) » de l'Université de Nantes s'enorgueillit d'être proposée depuis la rentrée académique 2012 en double diplôme avec l'Université libre de Bruxelles. Cette brochure est destinée à informer nos futurs étudiants de master 1 et 2 sur ce dispositif de double diplôme, mais aussi de revenir sur l'originalité, les objectifs, le contenu et l'organisation de cette formation.

Structures soutenant la formation :

Université de Nantes
www.univ-nantes.fr

Université libre de Bruxelles
www.ulb.ac.be

École des mines de Nantes
www.mines-nantes.fr

Région Pays de la Loire
www.paysdelaloire.fr

Ministère des affaires étrangères et européennes
www.diplomatie.gouv.fr

Wallonie-Bruxelles International
www.wbi.be

Un flashback sur les quatre années écoulées est donné en terme de mobilité, stages et devenir de nos diplômés. Quatre ans c'est aussi le temps nécessaire pour se prouver et asseoir une reconnaissance de la formation auprès d'entreprises et d'unités de recherche. Des entreprises qui soutiennent notre formation s'expriment ici quant à l'importance et à la place des compétences scientifiques et techniques en recherche opérationnelle dans notre société. Même si le programme de la formation est en continuelle évolution afin de s'adapter à de nouveaux besoins, nous saisissons l'opportunité de cette brochure pour donner une présentation détaillée du programme et des spécificités qu'il présente aujourd'hui.

Nous tenons à remercier l'ensemble des structures qui soutiennent la formation de master en informatique « optimisation en recherche opérationnelle (ORO) ». Une attention particulière revient à la région Pays de la Loire qui par ses multiples soutiens nous a permis de réaliser la présente brochure, mais qui accompagne aussi financièrement depuis quatre ans nos étudiants lors de leur mobilité internationale.

Deux villes et trois institutions

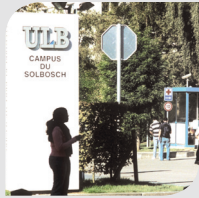


© Mines Nantes/Philippe Franck-Gallen

© PAK-Université de Nantes/Marine Pétreau

Nantes

Nantes est une ville d'histoire tournée vers son avenir. Cette métropole-portuaire, de 590 000 habitants dont 290 000 résidents dans Nantes, est particulièrement renommée en France pour sa qualité de vie et son effervescence culturelle, et fait partie des villes françaises les plus dynamiques en matière de croissance économique et démographique. Située au carrefour de la Bretagne, de l'Anjou et de la Vendée, elle est au bord d'un fleuve sauvage, la Loire, et proche de l'océan. Son modèle de développement durable basé sur la confiance dans l'innovation, l'attention à la cohésion sociale et l'engagement dans la protection de l'environnement a désigné Nantes Capitale européenne de l'environnement en 2013. Avec 51 000 étudiants dont 34 000 à l'université, Nantes est un pôle d'enseignement supérieur majeur.



© Université libre de Bruxelles

Bruxelles

Le village Bruocsela (qui signifie « habitation des marais ») est devenu Bruxelles, ville mondiale qui a fêté son millénaire en 1979. Capitale de la Belgique et de l'Union européenne, Bruxelles est une ville à l'histoire importante, au patrimoine riche et au folklore vivant. Bilingue français-néerlandais, la Région Bruxelles-Capitale est divisée en 19 communes, dont Bruxelles-ville, et compte plus d'un million d'habitants. La ville abrite de prestigieuses universités qui peuvent se targuer de plusieurs prix Nobel dont l'Université libre de Bruxelles, la Vrije Universiteit Brussel, ainsi que des grandes écoles et des centres de recherche actifs dans de nombreux domaines.

Université de Nantes, Faculté des Sciences et Techniques

Coordinateur du diplôme pour la partie française

L'Université de Nantes, créée il y a 50 ans, est aujourd'hui l'une des grandes universités pluridisciplinaires françaises et se développe sur un territoire attractif ayant une expansion économique et démographique forte et continue depuis deux décennies. Implantée à Nantes, Saint-Nazaire et La Roche-sur-Yon, elle accueille 34 000 étudiants. Avec 11 facultés et UFR, 8 instituts et une école d'ingénieurs, l'Université de Nantes propose plus de 300 diplômes dans presque tous les domaines de la connaissance dont « sciences, technologie, santé ». Mer, santé, matériaux et STIC (sciences et technologies de l'information et de la communication) figurent parmi ses pôles d'excellence en recherche. La Faculté des Sciences et des Techniques de l'Université de Nantes accueille chaque année plus de 4000 étudiants, au sein de 7 mentions de licence et 12 mentions de master, ainsi qu'environ 650 personnels dans 6 départements et 30 structures de recherche.

Université libre de Bruxelles, Faculté des Sciences

Partenaire conventionné pour délivrer le double diplôme

Fondée en 1834, et actuellement forte de 24 000 étudiants dont 32% sont d'origine étrangère, l'Université libre de Bruxelles (ULB) est ouverte à l'Europe et au monde. Composée de 13 facultés, écoles et instituts spécialisés, l'ULB couvre aujourd'hui toutes les disciplines en associant

très étroitement enseignement et recherche. Elle organise près de 40 programmes de 1^{er} cycle (bachelier) et 235 Masters (2^e cycle), et participe à 20 Écoles doctorales où près de 1 700 doctorats sont en cours. Avec quatre Prix Nobel (trois Nobel scientifiques et un Nobel de la paix), une Médaille Fields, deux Prix Abel, trois Prix Wolf, deux Prix Marie Curie et 29% des Prix Francqui attribués, l'ULB est également une grande université de recherche reconnue par la communauté académique mondiale. Riche de plus de 175 ans de réussites, la Faculté des Sciences de l'ULB compte aujourd'hui environ 2 000 étudiants, répartis dans 9 bacheliers (appelés licences en France) et 16 masters, ainsi que 500 chercheurs travaillant au sein de 11 départements de recherche.

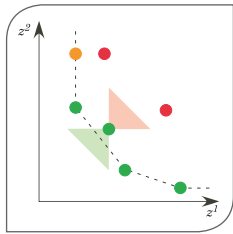
École des mines de Nantes

Partenaire habilité pour délivrer le diplôme

L'École des mines de Nantes est une école d'ingénieurs généralistes membre de l'Institut Mines-Télécom, le 1^{er} groupe de grandes écoles d'ingénieur et de management de France. Elle accueille sur son campus près de 1 000 étudiants dont 35% étrangers. Formations, recherches et transferts de technologies sont assurés en partenariat avec les entreprises. Référence dans la formation des ingénieurs comme dans la recherche, l'École s'impose dans deux domaines d'excellence : les sciences et technologies de l'énergie et de l'environnement et les sciences et technologies de l'information. Le master ORO offre un lieu d'expression à son expertise en optimisation, aide à la décision et gestion de la supply-chain.



Une formation en science du numérique spécialisée en « recherche opérationnelle »



La spécialité « recherche opérationnelle »

En deux mots, la recherche opérationnelle désigne les méthodes scientifiques utilisables pour élaborer de meilleures décisions. La spécialité est pluridisciplinaire avec des ancrages en informatique, mathématiques appliquées, économie, et science de l'ingénieur. Elle propose des modèles conceptuels pour analyser des situations complexes et permet d'éclairer le choix du décideur sous l'angle de l'efficacité. Les formations en recherche opérationnelle sont largement répandues dans les pays anglo-saxons et se présentent sous la dénomination « Operations Research and Management Sciences (OR/MS) ».

Que faire avec une formation en recherche opérationnelle ?

Une formation en recherche opérationnelle donne des fondations solides pour une recherche académique et est idéale pour une carrière dans un secteur du public ou du privé. Cela concerne classiquement l'industrie du numérique (logiciel, big data, systèmes de communication, consulting, etc.), de la production de biens ou de services (manufacture, transport, finances, marketing, énergie, santé, consulting, etc.). Cela concerne aussi un nombre considérable de situations insoupçonnées, rencontrées par exemple en sciences (biologie, chimie, physique) ou en encore gestion de crises (tsunami, évacuation urbaine, attentat).



© Airbus P. Pigeys

La recherche opérationnelle à Nantes

Répartie sur des équipes issues de deux laboratoires associés au CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) et participant à LigéRO (fédération ligérienne de recherche opérationnelle), la région Pays de la Loire figure parmi les plus grandes concentrations en France de scientifiques en recherche opérationnelle (source : AG ROADEF 2011). Ses contributions en programmation par contraintes, optimisation multiobjectif, optimisation non-linéaire, ordonnancement, logis-

tique, et bioinformatique sont visibles internationalement. Ces dernières années Nantes a été organisateur de manifestations scientifiques majeures comme les conférences « Principles and Practice of Constraint Programming » en 2006, « Evolutionary Multi-Criterion Optimization » en 2009, « EURO Working Group on Locational Analysis » en 2011 et « Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems » en 2012.

La recherche opérationnelle à l'ULB

Répartie sur trois unités (IRIDIA, GOM et SMG), la recherche opérationnelle à l'Université libre de Bruxelles est internationalement connue par les travaux conduits par Marco Dorigo (Prix d'excellence Marie Curie en 2003) sur les métaheuristiques à base de colonies de fourmis et Thomas Stützle sur la recherche locale stochastique, par Martine Labbé (Présidente d'EURO, association des sociétés européennes de recherche opérationnelle entre 2007 et 2008) et Bernard Fortz (coordinateur du « European Network Optimization Group » et du pôle d'attraction inter-universitaire « Combinatorial Optimization: Metaheuristics and Exact Methods ») sur les graphes et l'optimisation mathématique et par Philippe Vincke (Prix Georg Cantor de l'International Society on Multiple Criteria Decision Making en 2000, Recteur de l'ULB de 2006 à 2010) et Yves De Smet sur l'aide multicritère à la décision.

Communautés scientifiques dominantes dans la recherche opérationnelle nantaise et bruxelloise

La recherche opérationnelle se situe au carrefour de différentes sciences et technologies. On pourrait citer l'analyse économique, la théorie des jeux, ou encore l'ingénierie des systèmes. Celles-ci ne sont pas dominantes dans la formation de recherche opérationnelle proposée. A contrario, les thèmes enseignés de manière dominante sont l'intelligence artificielle, la théorie des graphes, la programmation mathématique, l'analyse numérique, le génie industriel, la logistique et le logiciel libre.



© www.galidnet.com



© PSA-PEUGEOT CITROËN

Les objectifs, les compétences, les thèmes fort de la formation



© RFF / Philippe Giraud

Présentation

Le master international en informatique spécialité « Optimisation en Recherche Opérationnelle (ORO) » forme des scientifiques au niveau bac+5 en informatique dans la spécialité « recherche opérationnelle ». La formation adresse en particulier les fondements algorithmiques de l'optimisation, ainsi que leurs applications aux systèmes de production et logistiques, en robotique et bioinformatique. Elle est organisée en 2 années, soit 4 semestres, correspondant à 120 ECTS. La formation est à finalité recherche ou appliquée selon l'option choisie par l'étudiant en seconde année. Le dernier semestre est réservé à la réalisation d'un stage de type recherche ou appliqué.

Objectifs

Le programme a pour ambition de donner aux étudiants les connaissances nécessaires en vue de spécifier, concevoir, réaliser et intégrer des solutions logicielles dans le domaine de l'optimisation répondant à des besoins spécifiques et défis de notre société. Cela concerne différents secteurs d'activité tels que la santé, le transport, le développement durable, les systèmes de communication, l'énergie, etc. Les diplômés auront la possibilité de candidater pour une poursuite d'études dans le cadre d'une thèse de doctorat ou sur des postes d'informatique, de logistique, de gestion de ressources, et à plus long terme devenir cadre supérieur sur les solutions de systèmes d'aide à la décision.



© Stock.XCHNG

Objectives

The goal is to train high quality specialists of Computer Science in the domain of Operations Research and, in particular, in Algorithmics and Optimization, as well as in their applications in bioinformatics, robotics, production and logistic systems.

The courses include professional and research trainings. The program's ambi-

tion is to give the necessary knowledge to students in order to specify, design, implement and integrate software solutions in the field of optimization meeting specific needs and challenges of our society in a broad range of sectors such as health, transport, sustainable development, communication, energy, etc.

The future graduates will be able to apply for a Ph.D. position or a position in I.T. engineering, logistics, resource scheduling, and in the long term to become an adviser of decision support solutions.

Un master international

La formation répond au label international de l'Université de Nantes. L'anglais est la langue d'usage au cours des trois derniers semestres. Durant la formation, les étudiants doivent effectuer une mobilité d'au moins un semestre à l'étranger. L'étudiant choisit sa mobilité en optant entre un séjour dans une université partenaire (en master 1), dans un centre de recherche (cadre de l'option recherche en master 2), ou dans une entreprise (cadre de l'option appliquée en master 2). Les étudiants ont la possibilité de solliciter des soutiens financiers pour accompagner leur mobilité. La formation propose la possibilité d'un double diplôme avec l'Université libre de Bruxelles qui co-organise le programme.

International program

The program has obtained the international label of the Université de Nantes. Namely, each student joining the 1st year of the program spends one semester abroad, either 2nd semester in an partner institution (e.g. Erasmus), or 4th semester within an internship framework (thanks to agreements with partners in Europe, Asia, America, Africa). The candidates may apply for mobility grants. The training offers the possibility of a double diploma with the Université libre de Bruxelles co-organizing the program.

All the courses of the 2nd and 3rd semester are given in English.



© Stock.XCHNG



Huit thèmes scientifiques forts en recherche opérationnelle distinguent la formation

La renommée internationale en recherche des membres de l'équipe pédagogique permet d'exhiber des thèmes scientifiques forts structurant et distinguant la formation, dont :

- **les graphes et la programmation mathématique** (graphes, réseaux, optimisation combinatoire, en nombres entiers, mixte, ensembles ordonnés)
Bernard Fortz, Xavier Gandibleux, Martine Labbé, Anthony Przybylski, Jean-Xavier Rampon, André Rossi, Iréna Rusu, Marc Sevaux
- **l'intelligence computationnelle** (heuristiques, métaheuristiques, intelligence artificielle distribuée)
Marco Dorigo, Xavier Gandibleux, Marc Sevaux, Thomas Stützle
- **la programmation par contraintes** (discrète, continue)
Nicolas Beldiceanu, Alexandre Goldsztejn, Frédéric Goualard, Laurent Granvilliers, Christophe Jermann, Florian Richoux
- **l'optimisation multi-objectif** (combinatoire, énumération exacte, algorithmes d'approximation)
Xavier Gandibleux, Evgeny Gurevsky, Anthony Przybylski, Thomas Stützle
- **l'aide multicritère à la décision** (préférences, décision, vote, jeux, risque, incertain)
Yves De Smet, Evgeny Gurevsky, Fabien Lehuédé, Bertrand Mareschal
- **l'optimisation non-linéaire** (programmation non linéaire, optimisation globale, blackbox)
Alexandre Goldsztejn, Laurent Granvilliers, Frédéric Goualard, Christophe Jermann
- **l'optimisation de la Supply-Chain** (logistique, transport, planification, ordonnancement)
Fabien Lehuédé, Odile Morineau, André Rossi, Marc Sevaux
- **la modélisation et l'optimisation en bioinformatique**
Guillaume Fertin, Iréna Rusu

sans oublier des thèmes moins centraux mais également développés comme *le calcul hautes performances* (Frédéric Goualard) et *l'apprentissage automatique* (Colin de la Higuera).



© INRAE - Université de Nantes



© BRF / Christophe Recours

Un master d'excellence

La spécialité a été évaluée A par l'AERES en 2011, en soulignant l'excellence de la qualité de la formation, l'adossement à la recherche et son fonctionnement à l'international. La formation ne connaît pas d'équivalent en université publique du grand ouest (régions Bretagne, Pays de la Loire, Poitou-Charentes).

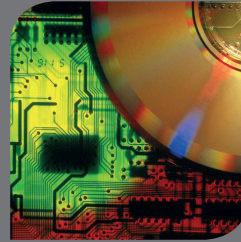
Un réseau de diplômés

Les diplômés du master ORO sont actifs sur différents réseaux sociaux (Facebook, LinkedIn), ainsi que sur « les carnets d'ORO » (www.oro-carnets.com), blog animé par les étudiants ORO lors de leur mobilité à l'étranger. Ceux qui préparent une thèse de doctorat ont pris aussi l'habitude de se revoir lors de ROADEF (www.roadef.org), la conférence annuelle française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision.

Alumni

Finally, it should be noted that the program has an active network of alumni.

BIG DATA - USINE NUMÉRIQUE - CONCEPTION VLSI - CONCEPTION MÉCANIQUE - LIGNES D'ASSEMBLAGE - RÉSEAUX ET TÉLÉCOMMUNICATIONS - LOGISTIQUE PORTUAIRE - LOGISTIQUE AÉROPORTUAIRE - LOGISTIQUE HUMANITAIRE - LOGISTIQUE DE DISTRIBUTION - GESTION DU TRAFFIC - GESTION DE PROJETS - GESTION DES STOCKS - GESTION DE FILES D'ATTENTE - GESTION DU PERSONNEL - GESTION DES RESSOURCES NATURELLES - TRANSPORT URBAIN - TRANSPORT AÉRIEN - TRANSPORT MARITIME - TRANSPORT ROUTIER - TRAITEMENT DU CANCER - DOCKING MOLÉCULAIRE - ROBOTIQUE - TOURNOIS SPORTIF - AMBIANCE URBAINE - GESTION ET DISTRIBUTION D'ÉNERGIE - EMPLOI DU TEMPS - DATA MINING - ÉCONOMIE - FINANCE - AGROALIMENTAIRE - DÉCOUPE - CHARGEMENT - PLACEMENT - COLLECTIVITÉS LOCALES - SERVICES PUBLICS - CLOUD COMPUTING - JEUX VIDÉO



© Alphas S.A.S (Construction aéronautique, transports aériens) - © Alphas S.A.S / H. Goussé (Personnel navigant) - © Stock XCHNG (Logis, Réseau électrique, camion, entrelacs) - © La Poste (La Poste (distibution)) - © www.gadnet.com (Finance, construction, santé, électronique, communication) - © Orange / Stéphane Esplan (serveurs) - © BHF France, Doreaua (train) - © La Voix du Nord / Édouard Beldé (trafic) - © UN/Morad Dornino (craque bleu) - © UN/Morad Dornino (dominique Pirelli) (montage automobile)



Research Structures involved in the program



*Erdre and Loire Rivers,
Nantes's downtown.*

© Pak - Université de Nantes / Christian Chauvet

Nantes

In Nantes, the program is organised with two research laboratories affiliated to the CNRS, both are members of the federation AtlanSTIC.

- The LINA, « **Laboratoire d'Informatique de Nantes-Atlantique** » (UMR CNRS 6241) is a Computer Science laboratory with an overall workforce of 180 members. It covers five research themes: distributed software architectures and systems; data science; bio-informatics; natural language processing; optimization and constraints. Operations Research is an active component of the last theme.
URL : <http://www.lina.univ-nantes.fr/>
- The IRCCyN, « **Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes** » is a joint research unit, UMR CNRS 6597 which has been recognized and granted by the CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) for more than 40 years. The institute gathers more than 265 members into 11 research teams. It covers a wide thematic spectrum, including control of complex systems, modeling and optimization of production and logistic systems, manufacturing processes, bio-informatics, robotics, signal and image processing, real-time and embedded systems, ergonomics and cognitive psychology.
URL : <http://www.irccyn.ec-nantes.fr/>
- The AtlanSTIC, « **Fédération de recherche en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication** » (FR CNRS 2819), is a federation of research in Computer Science and cybernetics, including four regional laboratories involved in Information and Communications Technology (ICT). Its four research themes are: Decision-making, software, interaction and robotics.
URL : <http://www.atlanstic.net/>

Brussels

In Brussels, the students enrolled in the joint program have the opportunity to be welcomed for a research internship in three research units : Graphs and Mathematical Optimization (GOM), Quantitative Techniques for Management (SMG), and Artificial Intelligence research laboratory (IRIDIA).

- The GOM, « **Graphes et Optimisation Mathématique** », research unit develops its fundamental and applied research activities in the broad field of optimization, and in particular combinatorial optimization, transportation, traffic, location, network, telecommunication, production planning, and logistics.
URL : <http://www.ulb.ac.be/di/gom/>
- The SMG, « **Service de Mathématiques de la Gestion** », is a research unit devoted to Decision Engineering, with a particular emphasis on Multicriteria Decision Aiding. They include the study of new theoretical concepts, the development of original methodologies and the treatment of concrete applications in a variety of fields like environmental management, finance, medical diagnosis, etc.
URL : [http://code.ulb.ac.be/\(item SMG\)](http://code.ulb.ac.be/(item%20SMG))
- The IRIDIA, « **Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Développements en Intelligence Artificielle** », is deeply involved in theoretical and applied research in computational intelligence. The major domains of competence are: (i) swarm intelligence, (ii) metaheuristics for the solution of combinatorial and continuous space optimization problems, (iii) the foundational study of biological networks, and (iv) business intelligence applications.
URL : [http://code.ulb.ac.be/\(item IRIDIA\)](http://code.ulb.ac.be/(item%20IRIDIA))



*Grand Place,
Brussels's downtown.*

© www.visitbrussels.be/ Eric Danhier

Témoignages d'entreprises qui soutiennent la formation



Renault

[Direction Informatique Renault] (Le Plessis Robinson)

Le pôle Recherche Opérationnelle, au sein de la direction informatique, a pour mission de concevoir et développer les outils d'optimisation basés sur la recherche opérationnelle, au service des métiers de l'entreprise. Nous réalisons des prototypes et des applications opérationnelles, voire des études ponctuelles. Notre valeur ajoutée repose à la fois sur les compétences en recherche opérationnelle et une grande proximité avec les métiers de nos clients. Les algorithmes de recherche opérationnelle nous permettent de traiter un spectre large de problématiques :

- Planification industrielle et ordonnancement
- Plans de transport des pièces
- Schémas de distribution des véhicules
- Localisation des sourcings fournisseurs
- Chargement de camions et de conteneurs
- Modélisation de la complexité de la gamme produits
- Conception des modules de câblages électriques.

Comme on peut le voir, les techniques de recherche opérationnelle enseignées dans le master de RO de l'Université de Nantes ont toute leur place au sein des entreprises industrielles !

(par Alain Nguyen, Responsable pôle recherche opérationnelle RENAULT)



N-SIDE (Louvain-La-Neuve, Belgique)

N-SIDE, société de consultance et spin-off de l'UCL et de l'ULg fondée en 2000, développe et met en œuvre des solutions innovantes basées sur les dernières techniques de modélisation mathématique et de recherche opérationnelle.

Certaines de ses solutions :

- SCOOP est dédié à la sidérurgie et permet d'optimiser l'entière du processus de production de l'acier. Considérant des paramètres chimiques, thermodynamiques et économiques, SCOOP maximise les profits en agissant sur tous les leviers de coûts et sur l'optimisation du carnet de commandes.
- CT-FAST est une solution innovante pour la planification et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement des essais cliniques de l'industrie pharmaceutique. CT-FAST va plus loin que les outils classiques en combinant des

modèles mathématiques très sophistiqués à des simulateurs performants, le tout dans une interface graphique flexible, intuitive et construite pour la facilité d'utilisation des coordinateurs d'essais cliniques.

- NODE est un outil de design et planning stratégique de la supply chain au service de sociétés industrielles globales. Grâce à son modèle exclusif de calcul du coût marginal, il permet aux top managers de répondre de manière robuste à des questions stratégiques telles que la localisation géographique d'unités opérationnelles, les investissements, la gestion de portefeuille produits / clients et les flux logistiques optimaux.
- N-SIDE offre également des solutions destinées au secteur de l'énergie. Ces solutions permettent d'augmenter l'efficacité énergétique des clients N-SIDE en exploitant la flexibilité des équipements et contrats pour répondre à la volatilité du marché.

Les clients N-SIDE font partie des plus grands acteurs de leur secteur et ce, au niveau mondial. N-SIDE est particulièrement présent aujourd'hui en Europe, aux Etats-Unis et au Brésil.

(par Benoit David, Directeur des Opérations)

Stuffomatic (Nantes)

Stuffomatic est une jeune société nantaise spécialisée dans la recherche opérationnelle. Elle a été créée par Julien Jorge et Sébastien Angibaud, diplômés en informatique de l'Université de Nantes, et également docteurs en informatique de l'Université de Nantes (thèses de doctorat préparées dans deux équipes de recherche supports au master ORO). La société se présente comme une SSII en recherche opérationnelle et se propose d'intervenir à toutes les étapes de la résolution de problèmes complexes, depuis leur analyse jusqu'au développement d'outils pour le calcul des solutions. De plus, au delà des problématiques proposées par ses clients, Stuffomatic met son expertise et sa créativité à l'épreuve dans le domaine des jeux vidéo où l'existence de procédures efficaces permet de repousser les limites techniques et ouvre la porte à des mécanismes de jeux toujours plus originaux. L'équipe de Stuffomatic croit à la valeur du partage des connaissances. C'est pourquoi elle n'hésite pas à publier ses outils sous licence libre, et à contribuer sur des projets libres extérieurs. La diffusion des connaissances est une



nécessité humaine et nous sommes fiers que l'Université de Nantes propose le master ORO pour former et intéresser les nouvelles générations aux problématiques que nous rencontrons.

(par Julien Jorge, Ph.D.)



Amadeus (Sophia Antipolis)

À Amadeus, la Recherche Opérationnelle intervient à différents niveaux dans nos produits et services. Qu'il s'agisse de fonctionnalités d'aide à la décision exposées aux utilisateurs, ou de composants technologiques intervenant dans des couches plus basses de nos systèmes, nous utilisons l'optimisation combinatoire, l'optimisation probabiliste, et l'analyse de données, pour enrichir notre offre au bénéfice de l'ensemble des industries que nous servons : compagnies aériennes, aéroports, agents de voyage, hôtels. Nous développons une culture au croisement de la Recherche Opérationnelle, et du développement industriel, et nous valorisons autant les contributions scientifiques que l'appropriation, et parfois la contribution, des/aux nouvelles librairies du logiciel libre.

(par Semi Gabteni, Ph.D., Senior Manager Operations Research & Optimisation)



Canal TP (Paris)

« Inventer la mobilité de demain ». Leader en France du calcul d'itinéraire et de l'information temps réel, Canal TP propose des solutions modulaires pour valoriser l'offre de transport public, simplifier les déplacements et contribuer à une mobilité libre et durable. Filiale IT du Groupe Keolis, Canal TP développe des systèmes d'information multimodale basés sur la solution Navitia (quatre milliards de requêtes adressées/an). Au cœur de l'activité de Canal TP, l'équipe Recherche Opérationnelle (8 personnes) a pour mission de développer cette solution et piloter l'innovation technologique. Navitia est composée de plusieurs services qui mettent chacun en œuvre de multiples algorithmes (autour de la recherche d'itinéraires optimisée, de l'analyse de données, de l'analyse lexicographique...). L'équipe RO améliore constamment les performances techniques de Navitia (la pertinence des résultats obtenus dans la recherche d'itinéraires par exemple). Par ailleurs, dans un souci d'efficacité, la RO optimise les plateformes techniques (serveurs,

bande passante...) pour réduire la consommation de ressources. Si l'information voyageur vous intéresse et si vous avez envie de nous rejoindre, vous trouverez plus d'info sur notre blog : <http://labs.canaltp.fr/> et sur notre plateforme API Navitia.io : <http://navitia.io/>.

(par Bertrand Billoud, Responsable Marketing et Communication)

EURODECISION (Versailles)

PME innovante, EURODECISION combine son expertise en recherche opérationnelle à des savoir-faire métier (supply chain, RH, production, conception de produits industriels, pricing et revenue management) pour aider ses clients à mieux piloter leurs processus. L'entreprise est reconnue pour son cœur de compétences en optimisation des ressources et les plus grands noms du transport, de l'industrie et des services lui font confiance.

Depuis sa création, la R&D est un facteur-clé de développement pour EURODECISION qui considère l'innovation comme un moyen d'enrichir son capital de savoir-faire et d'élargir son offre. A titre d'exemple, les sujets du Revenue Management et du Big Data font partie des derniers axes de diversification de la société.

L'équipe d'EURODECISION est composée de consultants et d'ingénieurs ayant une double formation en recherche opérationnelle et technologies de l'information. Programmation mathématique, heuristiques, programmation par contraintes et autres méthodes d'aide à la décision enseignées par le Master de R.O. de l'Université de Nantes, sont les outils de travail de ces 70 collaborateurs qui partagent la passion des mathématiques appliquées et des nouvelles technologies. (www.eurodecision.com)

(par Denis Montaut, PDG d'EURODECISION)



IBM [ILOG Optimization] (Bois-Colombes)

La Recherche Opérationnelle est présente à tous les niveaux chez IBM, dans la division Industry Solutions, suite à l'acquisition d'ILOG (connue pour les produits ILOG CPLEX Optimization Studio et ILOG ODM Enterprise), dans la division IBM Research, mais aussi dans les divisions Services et Hardware. L'optimisation a ainsi été historiquement clé dans les processus de fabrication IBM tel que récemment la fabrication de puces à l'usine de Fishkill aux États-Unis.



Témoignages d'entreprises qui soutiennent la formation (suite)

IBM a fortement inclus les techniques analytiques avancées - et la recherche opérationnelle en particulier - dans ses plans de développement futurs. Récemment le portefeuille analytique s'est enrichi avec plus de 14 milliards de dollars d'acquisitions dans ce domaine. Les acquisitions clés étant ILOG (Optimisation et Business Rules), SPSS (Statistiques et Data Mining), Cognos (Business Intelligence), ainsi que de nombreux développements et collaborations internes et externes sur le sujet. (par Sofiane Oussedik, ILOG Optimization Technical Sales and Solutions Leader)



SNCF [Direction de l'Innovation et de la Recherche] (Paris)

La Direction de l'Innovation et de la Recherche de SNCF héberge une équipe dédiée à la modélisation et l'optimisation de la décision. Les chefs de projets de cette équipe exploitent différentes techniques de la Recherche Opérationnelle pour développer des prototypes ou des logiciels destinés à apporter une aide à la décision pour différentes activités de SNCF (TGV, transport régional, transport intensif en zone dense, infrastructure...). Ces missions sont également complétées par des recherches exploratoires visant à étudier des problématiques innovantes ou réputées difficiles d'un point de vue technique.

Les thèmes typiquement traités prennent place aussi bien à des niveaux amont de planification qu'en gestion opérationnelle des opérations. Ils concernent notamment la définition de plans de transport optimisés, l'utilisation efficiente des ressources nécessaires à la production de circulations ferroviaires, la recherche de robustesse dans la production ferroviaire, la planification des maintenances périodiques des engins, l'allocation des ressources requises pour la maintenance de l'infrastructure.

Les techniques de la recherche opérationnelle enseignées à l'Université de Nantes font ainsi clairement partie du socle de compétences maîtrisées par les membres de cette équipe.

(par David De Almeida et Francis Sourd, Direction de l'Innovation et de la Recherche de SNCF)

Artelys (Paris)

Artelys est une entreprise spécialisée en optimisation, aide à la décision et modélisation. Grâce à une expertise de haut niveau dans les techniques quantitatives, ses consultants conçoivent et mettent en œuvre les solutions les mieux adaptées aux besoins de leurs clients. Ils interviennent dans des secteurs d'activité diversifiés : énergie, logistique & transport, télécommunications, finance et défense.

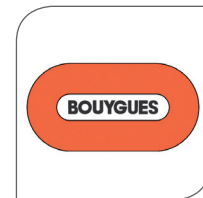
En particulier, la société fournit aux acteurs majeurs du secteur de l'énergie des services de conseil, de formation et de conception et développement de logiciels. Artelys a participé à plus d'une centaine de projets dans le secteur de l'énergie, allant d'études technico-économiques pour des réseaux de transmission électrique au management de risque de marché en passant par l'optimisation de planning de production électrique ou gazier, l'optimisation d'investissements et l'analyse comparée de stratégies de prix. Pour tous ces projets, Artelys utilise les techniques de la recherche opérationnelle telles qu'elles sont enseignées dans le Master de Recherche Opérationnelle de l'Université de Nantes.

(par Nathalie Faure, Responsable Projets Optimisation)



Bouygues (Paris)

Le e-lab est l'équipe de R&D de Bouygues SA au service des projets d'innovation et d'optimisation des métiers du groupe. L'activité d'optimisation du e-lab couvre l'optimisation de ressources, l'aide à la décision et l'analyse de données et de processus, c'est-à-dire les thèmes qui relèvent de la Recherche Opérationnelle. Sur ces thèmes, les experts du e-lab réalisent des études, des prototypes ou des logiciels pour les différentes filiales du groupe, ou pour des clients externes, et conduisent une activité de recherche en informatique scientifique. Par exemple le e-lab a étudié le processus d'affichage des bannières publicitaire de type «shopping-box» sur les sites internet gérés par TF1 publicité, afin de proposer un algorithme de sélection du produit à afficher pour maximiser la probabilité de clic de l'internaute. L'équipe a également réalisé un logiciel sur mesure pour déterminer le planning optimal de la maintenance à effectuer sur 500km de routes à Portsmouth, dans le cadre de la réponse à un appel d'offre pour un partenariat public-privé de 500M€ sur



25 ans (remporté par Colas en 2004). Enfin, l'équipe commercialise Local-Solver, un solveur de programmation mathématique fondé sur la recherche locale. Dans toutes ces missions nous faisons un usage intensif des techniques de la recherche opérationnelle telles qu'elles sont enseignées dans le Master de Recherche Opérationnelle de l'Université de Nantes.

(par Thierry BENOIST, Directeur Adjoint Optimisation)



Google (Paris)

En tant que responsable technique de l'équipe de Recherche Opérationnelle à Google, je peux attester de l'importance de la compétence Recherche Opérationnelle au niveau industriel. En effet, c'est l'une des rares voies de recherche qui permette de conjuguer compétitivité, efficacité, réduction des coûts, et réductions des ressources utilisées. Ce savoir faire est au cœur de l'utilisation rationnelle des nos ressources limitées et s'inscrit directement dans tout mouvement vert et durable.

De plus, la Recherche Opérationnelle va de pair avec le développement de tout traitement statistique de large flot de données (big-data et analytics) qui sont au cœur du métier de Google et de beaucoup des développements futurs en informatique, marketing, planning et prédiction.

En réponse à cette transformation importante de la société et de l'informatique, je soutiens la formation de master ORO porté par l'Université de Nantes. (par Laurent Perron, Chef Technique du projet Recherche Opérationnelle et Optimisation à Google)



Sopra Group (Nantes)

Sopra Group, acteur majeur du conseil, des services technologiques et de l'édition de logiciels en Europe, accompagne ses clients dans la réussite de la transformation de leurs métiers et de leurs systèmes d'information. Combinant valeur ajoutée et innovation dans les solutions apportées, qualité industrielle et performance des services délivrés, Sopra Group est le partenaire de référence des grandes entreprises et organisations qui recherchent le meilleur usage du numérique pour assurer leur développement et leur compétitivité. Sopra Group est l'un des acteurs majeurs du conseil et des services informatiques en Europe. Il offre l'opportunité d'un challenge technologique

permanent et un voyage passionnant au coeur des stratégies des plus grandes entreprises européennes. Sa filiale, Sopra Banking Software, est un éditeur leader, spécialisé dans les solutions applicatives pour le marché financier. Le Groupe compte plus de 14 000 collaborateurs et a réalisé un chiffre d'affaires 2012 de 1 217 millions d'euros.

Pour un client important du Secteur Public nous réalisons un projet de planification de la production et de la maintenance. Nous retrouvons dans ce projet les 3 niveaux classiques : PIC (Plan Industriel et Commercial), PDP (Programme Directeur de Production) et PO (Planification Opérationnelle) correspondant aux 3 visions : stratégique (> 12 mois), tactique (entre 3 et 12 mois) et opérationnelle (< 3 mois). Le nombre de références important (> 500 000 références) nécessite une optimisation poussée des algorithmes. Les problématiques abordées sont étroitement liées au domaine de la recherche opérationnelle : planification, ordonnancement, affectation tâches/ressources. La complexité des problèmes traités (souvent MIP), leurs tailles, ainsi que le caractère atypique des outils utilisés pour leurs résolutions (Algorithmes de type Simplexe, PPC), nous oblige à rechercher de nouvelles compétences. De part sa spécificité, le Master Optimisation en Recherche Opérationnelle permet de répondre aux exigences d'un tel projet : Comprendre les enjeux de la RO, apprendre les méthodes associées et apporter des solutions concrètes via l'outil informatique.

(par Marie-Laure ROUSSELLE RH - Site de Nantes)

PTV Group (Cergy)

PTV Group est le leader Européen dans l'édition de logiciels de cartographie, de calcul d'itinéraires poids lourds, et d'optimisation de tournées. Notre offre applicative, référence sur le marché du transport et de la logistique, s'accompagne d'une expertise reconnue dans le domaine de la recherche opérationnelle. Fort de nombreux partenariats universitaires, en France et en Allemagne, nous voyons en la formation « Master optimisation et recherche opérationnelle » une très belle opportunité d'accroître un domaine de compétence porteur d'avenir, sur un marché en pleine prise de conscience de l'apport de l'optimisation, tant d'un point de vue stratégique qu'opérationnel.

(Par Didier SCELLIER, Directeur Technique)



Program content proposed at Nantes *Programme de la formation organisée à Nantes*

- The program includes 4 semesters, the first three of which consist in general and specialized courses, plus trainings.
- 750hrs of courses (250hrs per semester in average) per student with an equivalent volume of personal work, completed by a 5 month (or longer) internship.
- 120 ECTS over 2 years (30 per semester).
- Pedagogical approach based on lectures, seminars, practical trainings and gradual informatics projects carried out in groups.
- Academic staff of 20 people and various collaborators.
- An opportunity to continue as a Ph.D. Student after a research internship leading to the Master Thesis.

Courses are organized mainly at the Faculty of Science (Campus Lombarderie) and at the EMNantes (Campus Chantrerie). The Fall semester starts early September til January, Spring semester starts January til late June. The Campus Lombarderie where courses are localized is situated close to the center of Nantes yet in a green area next to the Erdre river. The campus is easily accessible (10 minutes away from town center) by tramway (line 2, station Michelet-Sciences) or by bicycle (many cycleways). A special dedicated room is available for the students of the program. This room is equipped with modern computers, software, a beamer and a library. The Campus Chantrerie is located in the north of Nantes on the banks of the river Erdre, EMNantes is in the heart of Atlanpole, the technology park of Nantes.

YEAR 1

Core courses

- User Interface Design
- Data Structures and Algorithms
- Computability and Complexity
- Introduction to Research
- Entrepreneurship
- Scientific English 1
- Presentation and Communication Skills

Specialized courses

- Integer Programming
- Graphs and Networks
- Non Linear Optimization
- Decision Engineering
- Metaheuristics
- Multicore Programming
- Constraint Programming
- Machine Learning
- OR special topic I

Optional courses

- Conferences
- Scientific English 2
- Summer Internship

YEAR 2

Core courses

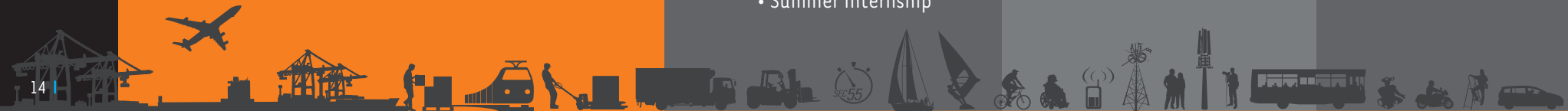
- Internship (option 'A'pplied or option 'R'esearch)

Specialized courses

- Large Scale Optimization
- Discrete Constraint Programming
- Global Optimization
- Black-box Optimization
- Multi-Objective Optimization
- Multi-Objective MetaHeuristics
- Transportation and Logistics
- Planning and Scheduling
- Bioinformatics
- OR special topic II
- Conferences

Faculty (2012-2013) in Nantes

- Nicolas Beldiceanu
- Guillaume Fertin
- Xavier Gandibleux
- Alexandre Goldsztejn
- Frédéric Goualard
- Laurent Granvilliers
- Evgeny Gurevsky
- Colin de la Higuera
- Christophe Jermann
- Laurie Labarbe
- Eric Languenou
- Fabien Lehuédé
- Odile Morineau
- Anthony Przybylski
- Jean-Xavier Rampon
- Florian Richoux
- André Rossi
- Iréna Rusu
- Marc Sevaux
- Alice Townend



Graphs and Mathematical Programming *Graphes et programmation mathématique*

Faculty members involved in this research area:

Bernard Fortz (contact person), Xavier Gandibleux, Martine Labbé, Anthony Przybylski, Jean-Xavier Rampon, Iréna Rusu, André Rossi, Marc Sevaux

Presentation

Combinatorial optimization problems can be viewed as searching for the best element of some set of discrete items, network optimization problems present an additional underlying graph structure. Since many combinatorial and network optimization problems are NP-hard, generic search methods cannot be used to solve them and specific methods are necessary.

Combinatorial or network optimization problems can typically be formulated as Mixed Integer Linear Programs (MILP). The optimal solutions of a MILP can be found by solving a linear program on the convex hull of the set of feasible solutions to this MILP. The study of the convex hull of feasible solutions to a MILP can thus be extremely useful for solving it.

Related courses in the program:

Graphs and Networks

- Connexity Problems
- Shortest Paths problems
- Matching problems
- Flow problems
- Transshipment problems
- Coloring problems

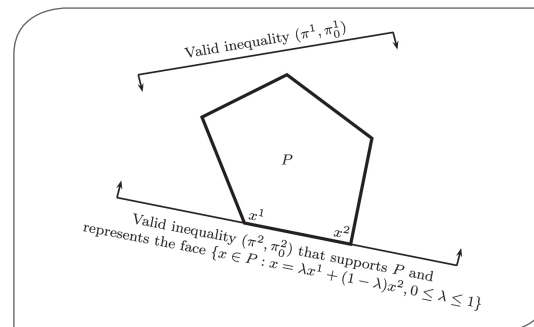
(π^1, π_0^1) and (π^2, π_0^2) are two valid inequalities describing the polyhedron $P = \{x \in \mathbb{R}^n : Ax \leq b\}$

Integer and Combinatorial optimization

- combinatorial problems
- modeling (good and ideal formulations), relaxations
- cutting plane theory and algorithms
- branch-and-bound/branch-and-cut algorithms
- integer programming decomposition algorithms
- matheuristics

Research activities

The application domains we focus on are discrete location and network design, traffic engineering in IP networks, network pricing, and combinatorial problems in medicine and computational biology. Our main objective consists in developing new exact methods or improving existing ones, i.e. solving instances of larger size or in a faster way. To achieve this, we focus on finding better descriptions of the convex hull of feasible solutions, and on using re-formulations in extended variable spaces as well as developing efficient decomposition techniques for large size problems.



L.A. Wolsey. *Integer Programming*, John Wiley, New York, 1998.

H. Paul Williams. *Model Building in Mathematical Programming*, 4th Edition, Wiley, 1999.

B. Fortz and M. Thorup. Increasing Internet Capacity Using Local Search. *Computational Optimization and Applications*, 29(1):13–48, 2004.

M. Labbé, H. Yaman and E. Gourdin. A Branch and Cut Algorithm for Hub Location Problems with Single Assignment. *Mathematical Programming*, 102:371–405, 2005.

B. Fortz and M. Labbé. Design of survivable networks. In M.G.C. Resende and P.M. Pardalos, editors, *Handbook Of Optimization In Telecommunications*, chapter 15, pages 367–389. Springer, 2006.

L. Canovas, S. Garcia, M. Labbé and A. Marin. A strengthened formulation for the simple plant location with order. *Operations Research Letters*, 35:141–150, 2007.

D. Jungnickel. *Graphs, Networks and Algorithms*, Springer, 2008.

L. Brotcorne, M. Labbé, P. Marcotte and G. Savard. Joint design and pricing on a network. *Operations Research*, 56:1104–1115, 2008.

I. Rusu. Maximum weight edge-constraint matchings. *Discrete Applied Mathematics*, 156(5): 662–672, 2008.

B. Fortz and M. Poss. An improved Benders decomposition applied to a multi-layer network design problem. *Operations Research Letters*, 37(5):359–364, 2009.

J. Leblet and J.-X. Rampon. Inductive Characterizations of Finite Interval Orders and Semiorders. *Order*, 26(3): 277–281, 2009.

D. Catanzaro, A. Godi and M. Labbé. A class representative model for pure parsimony haplotyping. *INFORMS Journal on Computing*, 22:195–209, 2010.

M. Soto, A. Rossi, and M. Sevaux. Three new upper bounds on the chromatic number. *Discrete Applied Mathematics*, 159(18): 2281–2289, 2011.

A. Altin, B. Fortz, M. Thorup and H. Umit. Intra-domain traffic engineering with shortest path routing protocols. *Annals of Operations Research*, 204: 65–95, 2013.

Q. Botton, B. Fortz, L. Gouveia and M. Poss. Benders Decomposition for the Hop-Constrained Survivable Network Design Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 25(1):13–26, 2013.

A. Singh, A. Rossi and M. Sevaux. Matheuristic approaches for Q-coverage problem versions in wireless sensor networks. *Engineering Optimization*, 45(5): 609–626, 2013.

Computational intelligence *Intelligence computationnelle*

Faculty members involved in this research area:

Thomas Stützle (contact person), Marco Dorigo, Xavier Gandibleux, Marc Sevaux

Presentation

Computationally hard problems arise in many relevant application areas of computational intelligence such as computer science, operations research, and engineering. For many of these, heuristic search techniques are the most successful methods. Heuristic search techniques range from simple constructive and iterative improvement methods to metaheuristics, which are generic algorithmic concepts from which specific heuristic methods can be derived. Metaheuristics have received significant attention and it comprises methods ranging from tabu search, iterated local search to several nature-inspired methods such as evolutionary computation and swarm intelligence.

Related courses in the program:

Heuristic Optimization

- Basic Heuristic Methods
- Metaheuristics
- Empirical evaluation and tuning
- Advanced topics

Swarm Intelligence

- Principles of Swarm Intelligence
- Swarm Intelligence Methods for Optimization
- Swarm robotics

Open questions

Efficient methods for the approximate solution of (i) computationally hard problems, (ii) large-scale problems, (iii) combinatorial but also continuous and mixed variable problems. Heuristic search methods are versatile, fast to develop and implement, and flexible. They can strongly profit from problem-specific knowledge and integrate techniques from exact algorithms leading to so-called matheuristics. Heuristic methods are easily adaptable to problem features arising in many real-world problems such as multiple objectives, time-varying information, or stochastic information.

Applications, software

Heuristic methods are applicable to virtually all problems that can be formulated as some type of search problem and, thus, have wide applicability in areas such as bioinformatics, engineering, telecommunications, and many others. With few, often limited exceptions, there do not exist generic heuristic solvers and therefore the effective algorithm engineering of heuristic methods is an important topic.

Ant Colony Optimization: an algorithm of the pheromone deposit principle for the traveling salesman problem (Dorigo and Stützle 2004)

E. H. L. Aarts and J. K. Lenstra (Hrsg.), Local Search in Combinatorial Optimization. John Wiley and Sons, 1997.

E. Bonabeau, M. Dorigo and G. Theraulaz. Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems. Oxford University Press, New York, 1999.

Z. Michalewicz and D. Fogel, How to Solve it: Modern Heuristics. Springer Verlag, 2000.

M. Dorigo and Th. Stützle, Ant Colony Optimization. MIT Press, 2004.

H. H. Hoos and Th. Stützle, Stochastic Local Search, Morgan Kaufmann Publishers, 2005.

V. Maniezzo, Th. Stützle and St. Voß, Matheuristics-Hybridizing Metaheuristics and Mathematical Programming, Springer Verlag, New York, 2009.

M. Gendreau and J.-Y. Potvin, Handbook of Metaheuristics, Springer Verlag, New York, 2nd edition, 2010.

Th. Bartz-Beielstein, M. Chiarandini, L. Paquete and M. Preuss (Eds.) (2010). Experimental Methods for the Analysis of Optimization Algorithms. Springer, Germany.

Pr. Balaprakash, M. Birattari, Th. Stützle and M. Dorigo. Estimation-based Metaheuristics for the Probabilistic Travelling Salesman Problem. Computers & Operations Research, 37(11):1939-1951, 2010.

X. Gandibleux, J. Jorge, X. Delorme and J. Rodriguez. An ant algorithm for measuring and optimizing the capacity of a railway infrastructure. In Artificial Ants (N. Monmarché, F. Guinand, and P. Siary, eds), volume 1, ch. 9, pp.175-203 ISTE/Wiley, 2010.

M. Montes de Oca, D. Aydin and Th. Stützle. An Incremental Particle Swarm for Large-scale Optimization Problems: An Example of Tuning-in-the-loop (Re) Design of Continuous Optimization Algorithms. Soft Computing, 15(11):2233-2255, 2011.

M. Soto, A. Rossi and M. Sevaux. A mathematical model and a metaheuristic approach for a memory allocation problem. Journal of Heuristics, 18(1):149-167, 2012.

Procedure DepositPheromone(*k*)

```

Input: k /* ant identifier
 $\Delta\tau \leftarrow 1/ant[k].tour\_length;$ 
for i  $\leftarrow 1$  to n do
     $j \leftarrow ant[k].tour[i];$ 
     $l \leftarrow ant[k].tour[i + 1];$ 
     $pheromone[j][l] \leftarrow pheromone[j][l] + \Delta\tau;$ 
     $pheromone[l][j] \leftarrow pheromone[j][l];$ 
    
```


Constraint Programming *Programmation par contraintes*

Faculty members involved in this research area:

Nicolas Beldiceanu (contact person), Alexandre Goldsztejn, Frédéric Goualard, Laurent Granvilliers, Christophe Jermann, Florian Richoux

Presentation

Constraint programming aims at providing descriptions of real-world combinatorial problems, usually written in a formal language, from which solutions can be obtained using a set of predefined solving algorithms. Such algorithms are able to collaborate in a generic and rigorously reproducible way. This collaboration is named propagation. In this context, a fundamental notion is the notion of global constraint. A global constraint represents an island of structure in the problem. It involves variables, which can be discrete (integer values) or continuous. A global constraint is generally provided with a filtering algorithm, able to reduce significantly the search space required to find a solution. The filtering algorithms may come from any field of operations research, such as graph theory, linear programming, scheduling theory, etc. As most of the problems are NP-Hard, a search procedure is used. Depending on the size and nature of problems, this procedure can be exact (e.g., Branch and Bound) or not (e.g., Large Neighborhood Search, Constraint-based local search, or Greedy techniques that exploit the information provided by filtering algorithms).

Related courses in the program:

Discrete Constraint Programming

- Constraint kernels, consistency and filtering algorithms
- Core global constraints
- Using automata for representing constraints
- Scheduling constraints
- Modeling and symmetries

Open questions

(1) Simplicity of use: a naïve use of constraint solvers is not suited to solve industrial problems. Therefore, the research community is strongly interested in *learning techniques, probabilistic search* and robust “*black-box*” solvers. (2) *Large scale problems*: data center allocation and computational disaster management, for instance, require dealing with millions of variables. (3) One step forward modeling: real-world optimization problems have *complex, non-functional and non-linear optimization criteria*.

Applications, software

Constraint programming tools are widely developed in industry, e.g., Google OR-Tools, IBM ILOG CP Optimizer, COMET (Dynadec). Locally in Nantes, the open-source solver CHOCO is one of the most used academic research tools in discrete constraint programming. This tool is complementary with the continuous IBEX solver¹. The *Global constraint catalog* and the *constraint seeker* form the most exhaustive and interactive online encyclopedic database in Constraint Programming. Applications of Constraint Programming are heterogeneous, for instance: Scheduling, planning, data center allocation problems, bioinformatics, configuration and computational disaster management.

¹ Numerical constraint programming is introduced in the nonlinear programming research area.

R. Dechter, *Constraint Processing*, Elsevier, 2003.

F. Rossi, P. van Beek and T. Walsh (editors), *Handbook of Constraint Programming*, Elsevier, 2006.

A. Goldsztejn and L. Granvilliers, *A new framework for sharp and efficient resolution of NCSP with manifolds of solutions*, *Constraints*, 15(2):190-212, 2010.

N. Beldiceanu, M. Carlsson, S. Demassey and E. Poder, *New Filtering for the cumulative Constraint in the Context of Non-Overlapping Rectangles*, *Annals of Operations Research*, 184(1): 27-50, 2012.

A. Letort, N. Beldiceanu and M. Carlsson. *A Scalable Sweep Algorithm for the cumulative Constraint. Proceeding of the 18th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (M. Milano Edt.)*. *Lecture Notes in Computer Science* 7514, pp 439-454, 2012.

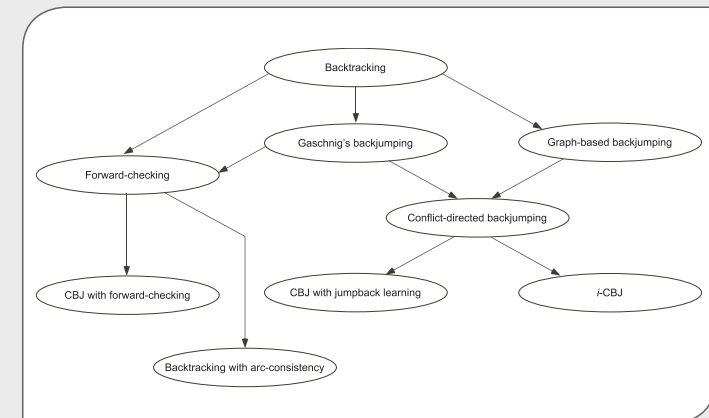
Y. Hamadi, E. Monfroy and F. Saubion (editors). *Autonomous Search*, Springer, 2012.

N. Beldiceanu, M. Carlsson, P. Flener and J. Pearson, *On the reification of global constraints*, *Constraints*, 18:1-6, 2013.

N. Beldiceanu, M. Carlsson, P. Flener and J. Pearson, *On matrices, automata, and double counting in constraint programming*, *Constraints*, 18:108-140, 2013.

Software development:

- CHOCO (constraint tool <http://www.emn.fr/z-info/choco-solver/>)
- IBEX solver (<http://www.emn.fr/z-info/ibex/>)
- Global Constraint Catalog (<http://www.emn.fr/z-info/sdemasse/gccat>)



Relationships of selected backtracking-based algorithms (from Dechter 2003).

Multi-Objective Optimization *Optimisation multi-objectif*

Faculty members involved in this research area:

Xavier Gandibleux (contact person), Evgeny Gurevsky, Anthony Przybylski, Thomas Stützle

Presentation

Decisions faced in real world problems, can be formulated as mathematical programming problems in which several objective functions have to be optimized simultaneously. For example, the minimization of CO₂ emission in logistics (vehicle routing, plant location...), the maximization of robustness of a timetable in a transportation system (trains, buses...), the minimization of energy consumption in a production system (servers, railway...) are examples of objectives to be optimized simultaneously in addition to classical profitability. Due to the conflicting nature of objectives, there is generally no solution optimizing all objectives simultaneously. Consequently, the single-objective notion of optimal solution must be replaced by the notion of complete set of efficient solutions. This latter set may be large and computationally difficult to obtain. Approximation methods (multi-objective metaheuristics) are therefore necessary for a practical solution of large-scale instances.

Related courses in the program:

Multi-objective Optimization

- Introduction to Multi-objective Optimization
- Multi-objective Linear Programming
- Multi-objective Combinatorial Optimization

Multi-Objective MetaHeuristics

- Approximation and quality measures
- Population based methods
- Neighborhood based methods
- Multi-objective metaheuristics and discrete optimization problems

Open questions

The design of powerful algorithms for the exact solution of large scale problems (1) with more than 2 objectives, (2) mixing continuous and discrete variables, (3) linear and bottleneck objectives, (4) with nondeterministic data, (5) or again taking into account the preferences of a decision maker.

Solvers, software

The most powerful algorithms for computing the exact solutions in multi-objective combinatorial optimization are problem-specific. Yet today, no solver for the exact solution of general multi-objective mixed-integer programmes is available. On the other hand, several algorithms (e.g. NSGA-II), software (e.g. modeFRONTIER) and open frameworks (e.g. JMetalCpp) for the approximation of multi-objective optimization problems are available.

$$\begin{aligned}
 \text{"min" } z_k(X) &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}^k x_{ij} & k = 1, \dots, p \\
 \text{subject to} & \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 & i = 1, \dots, n \\
 & \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 & j = 1, \dots, n \\
 & x_{ij} \in \{0, 1\} & i, j = 1, \dots, n
 \end{aligned}$$

The multi-objective linear assignment problem where p is the number of objectives to minimize, n is the number of tasks and resources.

X. Gandibleux, A. Jaszkiwicz, A. Fréville and R. Slowinski, guest editors. Special issue « Multiple Objective MetaHeuristics ». *Journal of Heuristics* 6(3), 2000.

M. Ehrgott and X. Gandibleux. A survey and annotated bibliography of multiobjective combinatorial optimization. *OR Spectrum*, 22:425–460, 2000.

K. Deb. *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, Wiley, 2001.

M. Ehrgott and X. Gandibleux, editors. *Multiple Criteria Optimization : State of the Art Annotated Bibliographic Survey*, volume 52 of *International Series in Operations Research and Management Science*. 496 pages. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

X. Gandibleux, M. Sevaux, K. Sörensen and V. T'kindt, editors. *Meta-heuristics for Multiobjective Optimisation. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 535. Berlin, Springer, 2004.

M. Ehrgott and X. Gandibleux, *Approximative solution methods for multiobjective combinatorial optimization. TOP*, 12(1):1–63, 2004.

M. Ehrgott. *Multicriteria Optimization. Second edition*. Berlin, Springer, 2005.

V. Barichard, M. Ehrgott, X. Gandibleux and V. T'kindt, editors. *Multi-Objective Programming and Goal Programming. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 618. Springer, 2009.

M. Ehrgott, C.M. Fonseca, X. Gandibleux, J.-K. Hao and M. Sevaux, editors. *Evolutionary Multi-Criterion Optimization. Lecture Notes in Computer Science* 5467. Springer, 2009.

S. N. Parragh, K. F. Doerner, X. Gandibleux and R. F. Hartl. A heuristic two-phase solution approach for the multi-objective dial-a-ride problem. *Networks*, 54 (4): 227–242, 2009.

A. Przybylski, X. Gandibleux and M. Ehrgott. A recursive algorithm for finding all nondominated extreme points in the outcome set of a multiobjective integer programme. *INFORMS Journal on Computing*, 22:371–386, 2010.

A. Przybylski, X. Gandibleux and M. Ehrgott. A two phase method for multi-objective integer programming and its application to the assignment problem with three objectives. *Discrete Optimization*, 7:149–165, 2010.

M. López-Ibáñez and Th. Stützle. The Automatic Design of Multi-objective Ant Colony Optimisation Algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 16(6): 861–875, 2012.

T. Vincent, F. Seipp, S. Ruzika, A. Przybylski and X. Gandibleux. Multiple objective branch and bound for mixed 0-1 linear programming: Corrections and improvements for the biobjective case. *Computers & Operations Research*, 40: 498–509, 2013.

Faculty members involved in this research area:

Yves De Smet (contact person), Evgeny Gurevsky, Fabien Lehuédé, Bertrand Mareschal

Presentation

Most strategic decisions involve multiple criteria for the evaluation of possible solutions. Potential decisions are subject to uncertainties, constraints and may be simultaneously evaluated by different experts. Multicriteria Decision Aid (MCDA) provides a set of mathematical tools and computer methods that ease, structure and speed up the decision making process.

Related courses in the program:

Decision Engineering

- Voting theory
- Multicriteria decision aid
- Decision under risk and uncertainty
- Introduction to game theory

Open questions

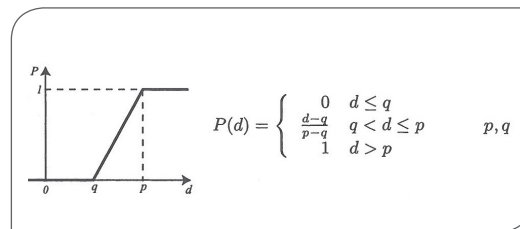
- Theoretical developments of PROMETHEE and GAIA methods (preferences elicitation, rank reversal analysis, extension of visual representations, management of uncertainty...)
- Multicriteria classification and clustering
- Applications of MCDA to geographical information systems, to the design of 3D-stacked integrated circuits, to the road design problem (the concept of sustainable road safety), to Data Envelopment Analysis, etc.

Applications, software

The CoDE-SMG unit is at the origin of the D-SIGHT Spin-Off. The company continuously develops computer applications for multicriteria decision aid. The software (D-SIGHT desktop and D-SIGHT web) are already used in more than 20 countries. Among the clients, one may cite the Candian National Defense, Brussels' airport, Italferr, STIB, Fluxys, ... (see also www.d-sight.com)

Moreover, members of the CoDE-SMG unit are regularly involved in industrial research projects. Among the last years, they participated to the development of:

- a system to assess replacement strategies for high voltage equipment's replacement (ELIA);
- a prioritization method to fight different forms of crime (the Belgian police);
- an optimization model to manage international gas transfer (Fluxys)



The "V-shape with indifference criterion" proposed in Promethee methods. $P(d)$ is a preference function; p and q are two parameters to fix.

Ph. Vincke, *Multicriteria Decision Aid*, Wiley, 1992.

B. Roy, *Multicriteria Methodology for Decision Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 1996.

R. Hites, Y. De Smet, N. Risse, M. Salazar and P. Vincke. About the applicability of MCDA to some robustness problems, *European Journal of Operational Research*, 174(1): 322-332, 2006.

Y. De Smet. Multi-criteria auctions without full comparability of bids. *European Journal of Operational Research*, 177(3):1433-1452, 2007.

Y. De Smet and S. Eppe. Multicriteria Relational Clustering: The case of binary outranking matrices. In *Lecture Notes in Computer Science (Proceedings of the EMO 2009 conference)*, 380-392, 2009.

V.A. Emelichev, E.E. Gurevskii. On the regularization of vector integer quadratic programming problems. *Cybernetics and Systems Analysis*, 45(2): 274--280, 2009.

H. Fouchal, X. Gandibleux, F. Lehuédé. Preferred solutions computed with a label setting algorithm based on Choquet integral for multi-objective shortest paths, In *Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making, IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making (Paris, 11-15 April 2011)* pp. 143-150, 2011.

Y. De Smet, P. Nemery de Bellevaux and R. Selvaraj. An exact algorithm for the multicriteria ordered problem, *Omega*, 40(6): 861-869, 2012.

Q. Hayez, Y. De Smet and J. Bonney. D-Sight: a new decision making software to address multi-criteria problems, *International Journal of Decision Support Systems Technologies*, 40(4): 1-23, 2012.

Y. De Smet and K. Lidouh « An introduction to Multicriteria Decision Aid : the PROMETHEE and GAIA methods », in the *Proceedings of the 2st European Business Intelligence Summer School (eBISS 2012)*, Aufaure, M.A. and Zimanyi, E. (eds.), Springer, 150-176, 2012.

J. Roland, Y. De Smet and J. Rui Figueira: On the calculation of stability radius for multi-objective combinatorial optimization problems by inverse optimization. *4OR*, 10(4): 379-389, 2012.

M.A. Boujelben and Y. De Smet. About The Application of Evidence Theory In MultiCriteria Decision Aid. In *Multicriteria decision aid and artificial intelligence: Theory and applications*, John Wiley & Sons M. Doumpos and E. Grigoroudis (eds.), Wiley, 2013.

S. Eppe and Y. De Smet. An adaptative questioning procedure for electing PROMETHEE II's weight parameters. To appear in the *International Journal of Multicriteria Decision Making*.

Nonlinear Programming *Optimisation non-linéaire*

Faculty members involved in this research area:

Alexandre Goldsztejn (contact person), Frédéric Goualard, Laurent Granvilliers, Christophe Jermann

Presentation

Nonlinear programming covers a wide range of problems, and is characterized by the presence of several local minima, which greatly complicates the search for the global minimum. Convex optimization, which enjoys the uniqueness of its global minimum, is a large field on its own and is not in the scope of this program. The potential presence of several local minima prevents typical methods from finding the global minimum. Such *incomplete* methods include the one presented in the courses Nonlinear optimization (which focuses on differentiable functions) and Black box optimization (which focuses on usually non-differentiable and expensive to evaluate functions, which do not have explicit expression, e.g. results of computer simulations). The third course of this program introduces a *complete* method based on numerical constraint satisfaction, which relies on a branch and bound scheme.

Related courses in the program:

Nonlinear programming

- One-dimensional optimization
- Unconstrained optimization (steepest descent, quasi-Newton, Conjugate gradient, etc.)
- Constrained optimization (Lagrange and KKT theorems, penalty methods, etc.)

Black box optimization

- Model based methods
- Methods not based on models (directional search, simplicial search, line search, etc.)

Constraint solving and optimization

- Interval arithmetic
- Constraint satisfaction
- Interval operators
- Branch-and-bound algorithms

Open questions

Each of the three optimization fields introduced in this program presents its own difficulties. Nonlinear optimization focuses on the complexity of the algorithm and its convergence speed, in order to be able to compute good approximations of large-scale problems. Black box optimization usually involves smaller scale problems, but its inherent difficulties are the non-differentiability and the computational cost of the function. Complete nonlinear optimization is face to the NP-hardness of finding the global minimizer of the problem, hence is restricted to small-scale problems.

Applications, software

- Nonlinear optimization: Ipopt, KNITRO, etc.; very large scope of applications.
- Black box software: NOMAD, BOBYQA, etc.; application to e.g. aeronautics, resource flow optimization.
- Complete solvers: Couenne, Baron, etc.; application to e.g. safety verification, worth case analysis.
- Interval based software: GloptLab (www.mat.univie.ac.at/~dferi/gloptlab.html), Realpaver (pagesperso.lina.univ-nantes.fr/~granvilliers-l/real-paver/), IBEX (www.emn.fr/z-info/ibex/).

D. P. Bertsekas, *Nonlinear Programming*, Second edition, Athena Scientific, 1999.

A. Neumaier, *Complete search in continuous global optimization and constraint satisfaction*, *Acta Numerica*, 13:271–369, 2004.

J. Nocedal and S. Wright, *Numerical Optimization*, Second edition, Berlin, Springer, 2006.

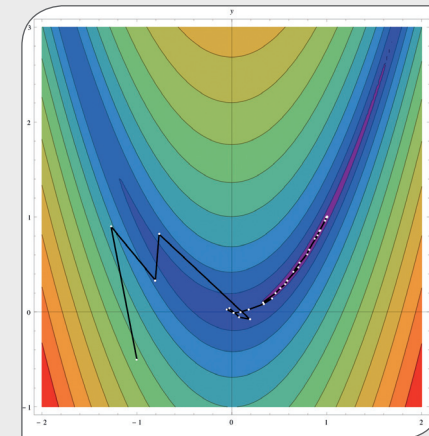
L. Granvilliers and F. Benhamou, *Algorithm 852: Realpaver: an Interval Solver using Constraint Satisfaction Techniques*. *ACM TOMS*, 32(1):138–156, 2006.

A. R. Conn, K. Scheinberg and L. N. Vicente, *Introduction to Derivative-Free Optimization*, *MOS-SIAM Series on Optimization*, 2009.

R. Chenouard, A. Goldsztejn and C. Jermann, *Search Strategies for an Anytime Usage of the Branch and Prune Algorithm*, 21th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2009), pages 468–473.

A. Goldsztejn, F. Domes and B. Chevalier, *First Order Rejection Tests For Multiple-Objective Optimization*, *Journal of Global Optimization*, online first, 2013.

B. Martin, X. Gandibleux, and L. Granvilliers. *Continuous-GRASP Revisited*. In *Heuristics - Theory and Applications (P. Siarry Ed.) Chapter 1*, NOVA Publishers, 2013.



The Nelder-Mead Directional Search applied to the Rosenbrock problem function: $Ro(x,y) = (1 - x)^2 + 100(y - x^2)^2$

Supply-Chain Optimization *Optimisation de la Supply-Chain*

Faculty members involved in this research area:

Fabien Lehuédé (contact person), Odile Morineau, Marc Sevaux, André Rossi

Presentation

Supply-chain management now takes a holistic view of logistics flows that integrates procurements, production and distribution. This approach enhances better economical performance but should be supported by decision aiding software to deal with the complexity of logistics systems. Operations research offers solutions to take better decisions at the three decision levels of the organization: *Strategic decisions* deal with the logistic network design or the degree of vertical integration, *tactical decisions* determine resources allocation and production planning, *operational decisions* involve supply, production scheduling and distribution management and optimization.

Supply chain optimization is a very large experimental field for operations research.

Related courses in the program:

Transportation and Logistics

- Path and network optimization problems
- Vehicle routing problems
- Facility location
- Network design

Planning and Scheduling

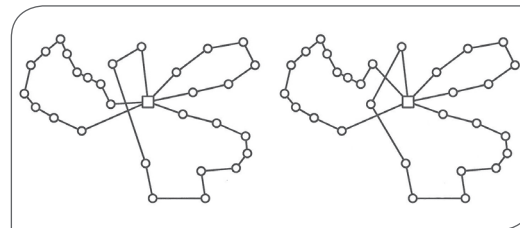
- One machine problems
- Shop scheduling problems
- Project scheduling
- Timetabling
- Lot sizing problems

Open questions

Research subjects are related to concrete optimization problems that are (1) new, (2) highly combinatorial, (3) highly constrained, (4) subject to risk or uncertainty, (5) multi-criteria. We develop both exact (linear programming, integer linear programming, branch-and-cut, branch-and-price, dynamic programming, dedicated algorithms) and approximate (heuristics, meta-heuristics, math-heuristics) solution methods.

Applications, software

Some examples of new developments address: the design of a collaborative distribution network, dial a ride applications, vehicle routing with transfers, multiprocessor scheduling, shift design, multi-resources project scheduling or production scheduling.



Two solutions for a vehicle routing problem with one depot (square) and 29 customers (circles). Both solutions are composed of 3 circuits.

M. Pinedo. *Scheduling. Theory, algorithms and systems. Second edition.* Prentice Hall, 2002.

P. Toth and D. Vigo. *The Vehicle Routing Problem.* SIAM, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.

J. Leung. *Handbook of scheduling. Algorithms, models and performance analysis.* Chapman & Hall. CRC, 2004.

A. Langevin and D. Riopel. *Logistics Systems: Design and Optimization. Gerad 25th Anniversary Series.* Springer, 2005.

O. Bellenguez-Morineau and E. Néron. *A branch-and-bound method for solving multi-skill project scheduling problem.* RAIRO Operations Research, 41: 155-170, 2007.

Ph. Nga Thanh, N. Bostel and O. Péton. *A dynamic model for facility location in the design of complex supply chains.* International Journal of Production Economics, 113(2): 678-693, 2008.

M.T. Melo, S. Nickel and F. Saldanha da Gama. *Facility location and supply chain management - a review.* European Journal of Operational Research, 196(2):401-412, 2009.

M. Gourgand, D. Lemoine and S. Norre. *Metaheuristic for the capacitated lot-sizing problem: a software tool for MPS elaboration.* International Journal of Mathematics in Operational Research, 2(6): 724-747, 2010.

A. Rossi, A. Singh and M. Sevaux. *A metaheuristic for the fixed job scheduling problem under spread time constraints.* Computers and Operations Research, 37(6):1045-1054, 2010.

R. Masson, F. Lehuédé and O. Péton. *An Adaptive Large Neighborhood Search for the Pickup and Delivery Problem with Transfers.* Transportation Science, 2012.

D. Prot and O. Bellenguez-Morineau. *Tabu search and lower bound for an industrial complex shop scheduling problem.* Computers and Industrial Engineering, 62(4): 1109-1118, 2012.

T. Lapègue, D. Prot and O. Bellenguez-Morineau. *A constraint-based approach for the Shift Design Personnel Task Scheduling Problem with Equity.* Computers and Operations Research, 2013.

F. Lehuédé, R. Masson, S. Parragh, O. Péton and F. Tricoire. *A multi-criteria large neighborhood search for the transportation of disabled people.* Journal of the Operational Research Society, 2013.

P. Schittekat, J. Kinable, K. Sørensen, M. Sevaux, F. Spieksma and J. Springael. *A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection.* European Journal of Operational Research, 2013.

Modeling and Optimization in Bioinformatics *Modélisation et optimisation en bioinformatique*

Faculty members involved in this research area:
Iréna Rusu (contact person), Guillaume Fertin

Presentation

Computational Biology is a multidisciplinary field in which advanced computational techniques are used to address biological questions. These questions usually range from the molecular level to the cellular level, but they reach more and more often the organismal level. From a computational point of view, the problems raised by biological questions are often very complex, and need the development of dedicated approaches, whose efficiency is crucial. Algorithmics, data mining, databases, machine learning and statistics are several important examples of computer science and mathematical fields involved in Computational Biology.

Related courses in the program:

Bioinformatics

- Introduction to Bio-algorithmics : general methodology
- Phylogeny Problems : hardness, algorithmic approaches, weaknesses
- Genome comparison : hardness, algorithmic approaches, weaknesses
- Network comparison : hardness, algorithmic approaches, weaknesses
- Coping with hardness in Bio-informatics: FPT methods

Open questions

Propose problem modelisations that simultaneously take into account: the formal information, the non-formal information, the exact data, the erroneous or incomplete

data, the existing related resolution methods, the subsequent experimental tests.

Propose efficient methods for: correcting the errors in the data, solving problems with very large input, coping with hardness (running time vs quality of the solution), ensuring large flexibility of the methods via parameter definitions and settings.

Applications, software

The applications of Bio-informatics in general, and of Bio-algorithmics in particular, are very broad, and include gene finding, genome assembly, prediction of protein-protein interactions, drug design, evolution modeling. Recently, the Next Generation Sequencing (NGS) technologies dramatically changed the acquisition of genomic data, offering much reduced costs and an increased speed of data acquisition. However, this new type of data comes with a representation of each genome as a very important number of small genome fragments, that need new algorithms and software to assembly them or to directly analyze the fragments. Whereas the assembly already got a lot of attention, testified by software like Euler, Velvet, SGA etc., the direct analysis of the fragments is in its early stages. Genome comparison, which is essential in the study of completely assembled genomes, takes on a new dimension with the comparison of large sets of fragments, and gives rise to needs for new software.

G. Fertin, A. Labarre, I. Rusu, E. Tannier and St. Vialette - *Combinatorics of Genome Rearrangements*, MIT Press, 2009.

G. Fertin and I. Rusu - *Computing Genomic Distances: An Algorithmic Viewpoint In: Algorithms in Computational Molecular Biology: Techniques, Approaches and Applications*, Wiley Science, Chapter 34, pp. 773-798, 2011.

M. R. Fellows, G. Fertin, D. Hermelin and St. Vialette: *Upper and lower bounds for finding connected motifs in vertex-colored graphs*. *Journal of Computer and System Sciences*, 77(4): 799-811 (2011).

L. Bulteau, G. Fertin and I. Rusu. - *Sorting by Transpositions is Difficult*, *SIAM Journal of Discrete Mathematics*, 26(3): 1148-1180, 2012.

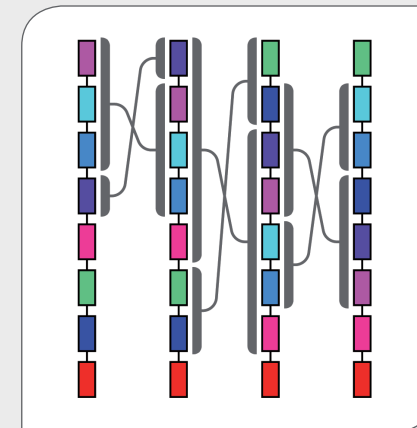
L. Bulteau, G. Fertin, M. Jiang and I. Rusu - *Tractability and approximability of maximal strip recovery*, *Theoretical Computer Science*, 440-441: 14-28, 2012.

L. Bulteau, G. Fertin and I. Rusu: *Pancake Flipping Is Hard* - *MFCS 2012*: 247-258, 2012.

G. Fertin, H. Mohamed-Babou and I. Rusu - *Algorithms for Subnetwork Mining in Heterogeneous Networks*. *SEA 2012*: 184-194, 2012.

I. Rusu: *New applications of interval generators to genome comparison* - *Journal of Discrete Algorithms* 10: 123-139, 2012.

L. Bulteau, G. Fertin and I. Rusu: *Maximal strip recovery problem with gaps: Hardness and approximation algorithms*. *Journal of Discrete Algorithms* 19: 1-22, 2013.



An evolution modelling problem: sorting by transpositions. Given the genomes of two species (represented by the left and right sequences), how many transpositions, i.e. exchanges of two consecutive subsequences, are needed to transform one into the other?

$$\left[\begin{array}{ll} \min z(x) = W & (1) \\ \text{s/c} & \\ \sum_{j \in J} x_j = p & (2) \\ \sum_{j \in J} y_{ij} = 1 & \forall i \in I \quad (3) \\ y_{ij} - x_j \leq 0 & \forall i \in I, j \in J \quad (4) \\ W - \sum_{j \in J} h_i d_{ij} y_{ij} \geq 0 & \forall i \in I \quad (5) \\ x_j \in \{0, 1\} & \forall j \in J \quad (6) \\ y_{ij} \in \{0, 1\} & \forall i \in I, j \in J \quad (7) \end{array} \right]$$

le master international ORO l'étudiant et sa formation

À qui s'adresse le master international ORO



Faculté des sciences et techniques.

Public concerné

La diversité thématique de la discipline se retrouve dans la composition des promotions d'étudiants, lesquels sont majoritairement issus de formations antérieures en

- informatique
- mathématiques-informatique
- informatique-gestion
- informatique industrielle
- mathématiques appliquées
- mathématiques-économie
- ingénieur TIC

Une promotion est constituée de 12 à 18 étudiants.

Candidat pour une inscription comme étudiant régulier à Nantes

L'accès en master 1 est sélective. Il est sur dossier de candidature pour les titulaires d'une licence 3 pouvant attester des prérequis en informatique et en mathématiques (voir le site web de la formation, <http://oro.univ-nantes.fr/>). L'accès en master 2 est de plein droit aux titulaires du master 1 ORO. Il est sur dossier de candidature dans les autres cas. Les dossiers de candidature sont à retirer sur le site web de l'UFR sciences (www.univ-nantes.fr et/ou www.sciences-techniques.univ-nantes.fr) et doivent être déposés pour mi-juin (voir date exacte sur le site web).

Pour les candidats en provenance de l'étranger, il est en plus important de vérifier sur le site web de l'Université de Nantes (1) les dispositions particulières à respecter selon votre nationalité, scolarité et pays de résidence, et (2) les dates limites de dépôt (premières échéances fin mars pour une admis-

sion en septembre de la même année). Toute l'information est disponible sur le site de l'Université de Nantes : Rubrique Venir étudier à Nantes > Hors programme d'échange.

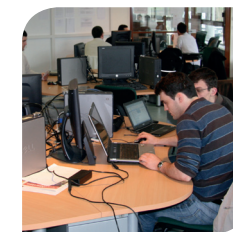
The Master is open to all students with a Licence or equivalent (BSc) in computer science, Applied Mathematics or related courses. Students with at least 4 years of higher education may be able to apply directly for the second year of ORO. For many cases, specific rules may apply, allowing a motivated student to join the program.

The application procedure is available on the ORO web site and should be sent before the 1st April (first deadline for foreign applicants; mid of June otherwise). Lectures start the first week of September.

Candidat à une mobilité Erasmus

L'étudiant en mobilité entrante à l'Université de Nantes doit dans un premier temps s'inscrire en ligne et suivre les indications spécifiées sur le site web, notamment concernant les pièces administratives à fournir. Les étudiants en échange Erasmus sont prioritaires pour une chambre en résidence universitaire. Dates prévisionnelles à retenir : fin avril pour le semestre d'automne, mi-novembre pour le semestre de printemps.

L'étudiant en mobilité sortante de l'Université de Nantes doit déposer une candidature au bureau international de la Faculté des Sciences et Techniques (dès septembre pour le semestre de printemps). La recevabilité d'une demande de mobilité Erasmus est soumise à l'avis du responsable Erasmus du département d'informatique. L'étudiant qui est sélectionné devra ensuite compléter le dossier de candidature de l'université d'accueil. Attention, le calendrier est spécifique à chaque université. Par exemple, les étudiants qui souhaitent une mobilité à l'Université libre de Bruxelles pour le semestre de printemps doivent avoir complété leur candidature pour le 30 septembre qui précède au plus tard.



Etudiants ORO en salle informatique.



Bâtiment d'enseignement sur le campus.



La rivière Erdre attenante à la faculté.





UNIVERSITÉ DE NANTES

Une formation, deux diplômes

Le master international en informatique spécialité « Optimisation en recherche opérationnelle (ORO) » offre aux étudiants inscrits en master informatique à l'Université de Nantes et à l'Université libre de Bruxelles, la possibilité d'effectuer une mobilité d'un semestre dans l'établissement partenaire dans le cadre de leur cursus. Les étudiants bénéficient de l'expérience de mobilité, ainsi que des forces des deux institutions, à la fois en termes de cours et d'encadrement scientifique. Le programme de la formation couvre la spécialité « recherche opérationnelle » de l'informatique et propose un volet spécifique recherche accompagné de bourses dans un cadre de coopération internationale entre Bruxelles et Nantes. Les diplômés du cursus forment un vivier naturel de recrutement pour des thèses en co-tutelle entre les deux établissements. A la validation du master 2, les étudiants satisfaisant les conditions d'obtention du double diplôme recevront le diplôme de l'Université de Nantes et le diplôme de l'Université libre de Bruxelles.

À qui s'adresse le double diplôme

Le double diplôme s'adresse aux étudiants inscrits en première (M1) et deuxième année (M2) de master mention informatique spécialité « Optimisation en recherche opérationnelle (ORO) » à l'Université de Nantes. Côté belge, il s'adresse aux étudiants inscrits en première (MA1) et deuxième année (MA2) du master en sciences informatiques option "Optimization and Algorithms" à l'Université libre de Bruxelles.

Conditions à satisfaire pour prétendre au double diplôme

- Réaliser une mobilité d'un semestre (minimum) chez le partenaire.
- S'inscrire, avec le bénéfice de l'exonération des frais d'inscription, à une année académique chez le partenaire.



ÉCOLE DES MINES DE NANTES

- Satisfaire les *Unités d'Enseignement* suivies chez le partenaire selon les règles de délibération du partenaire.
- Validation des années 1 et 2 du master selon les règles en vigueur dans l'université d'origine de l'étudiant.
- Validation des conditions d'obtention du double diplôme par un jury franco-belge.

Déroulement du programme

Pour les étudiants de l'Université de Nantes, la période de mobilité de cinq mois s'adresse de préférence au second semestre (janvier à fin juin) de M1 ou de M2. Pour les étudiants de l'ULB, la période de mobilité concerne l'ensemble des semestres (septembre à décembre; janvier à juin) de MA1 et MA2. Une mobilité d'un semestre couvre 30 ECTS. Les trois premiers semestres sont consacrés aux mobilités « étude » où les étudiants suivent des enseignements. Le dernier semestre est consacré aux mobilités « recherche » où les étudiants préparent une thèse de master.

Aide financière à la mobilité

A l'Université de Nantes, les étudiants sélectionnés pour participer au double diplôme doivent déposer une demande d'aide financière à la mobilité. Plusieurs aides financières peuvent être demandées par le candidat, selon les critères d'éligibilité. Pour en savoir plus consulter le site internet de l'université > l'international > Rubrique Étudier à l'étranger > Les aides financières.

Dans le cadre du soutien au Master franco-belge, deux bourses de mobilité d'environ 420 € par mois, financées par CampusFrance, sont disponibles annuellement (sur la période 2011-2014), respectivement du côté belge et français. Elles sont octroyées sur critère de qualité du candidat et couvrent toute la période de mobilité.

ULB

UNIVERSITÉ
LIBRE
DE BRUXELLES

International Academic Network in interface with the program



Bilateral Erasmus agreements

- **Université libre de Bruxelles, Belgium**
- www.ulb.ac.be

- **Université de Mons, Belgium**
- www.umons.ac.be



- **TU Kaiserslautern, Germany**
- www.uni-kl.de

- **TU Berlin, Germany**
- www.tu-berlin.de



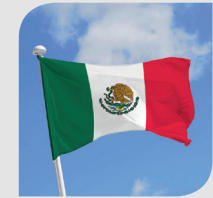
- **TED University-Ankara, Turkey**
- www.tedu.edu.tr

Collaboration Agreements

- **Osaka Prefecture University, Japan**
- www.osakafu-u.ac.jp/english/

- **National Institute of Informatics, Japan**
- www.nii.ac.jp/en/

- **CINVESTAV, Mexico City, Mexico**
- www.cinvestav.mx



All agreements opened at the University of Nantes are presented on the university's web site.



Lieux visités par nos étudiants dans le cadre de leur mobilité **études et stage de 2009 à 2013**



Les machines de l'île
(Nantes).

Université de Nantes (France)
École des mines de Nantes (France)
Recommerce Solutions, Gentilly (France)
Canal TP, Paris (France)
La Poste, Nantes (France)
INRA, Grignon (France)

Université libre de Bruxelles (Belgium)
Université de Mons (Belgium)
N-SIDE (Belgium)
Decizium (Belgium)

Leiden University (The Netherlands)

Technical University Kaiserslautern (Germany)
Helmut- Schmidt University, Hamburg (Germany)
ZIB Berlin (Germany)
SAP, Walldorf (Germany)
E.ON Ruhrgas (Germany)

University of Vienna (Austria)

NaviExpert, Poznan (Poland)



Manneken-Pis
(Bruxelles).

University of Nottingham (UK)

University College Dublin (Ireland)
University College Cork (Ireland)

Universidad de Málaga (Spain)

École Polytechnique de Montréal (Canada)
Université du Québec à Montréal (Canada)

Brown University (USA)
Northeastern University (USA)

National Institute of Informatics, Tokyo (Japan)
Osaka Prefecture University, Osaka (Japan)

Universidad de los Andes, Bogota (Colombia)

**Centro de Investigacion y de Estudios Avanzados
del Instituto Politecnico Nacional, Mexico city** (Mexico)

Université Française d'Égypte, Le Caire (Egypt)



Morris dance
(Nottingham).



Catrinas
(Mexico City).

Diplômés de 2009 à 2012



© PAM-Université de Nantes / Christian Chauvet

Faculté des sciences et techniques
(campus Lombarderie) situé au centre de Nantes.



© PAM-Université de Nantes / Christian Chauvet

École des mines de Nantes (Campus Chantrerie)
situé au nord de Nantes.

Promotion 2009

Jérémie Dubois-Lacoste
Raymond Guittonneau
Aurelien Lejeune
Mélanie Noirjean
Marie Pelleau
Alexandre Simoes
Rodrigue Tchapgna
Marie-Charlotte Tiné
Nadarajen Veerapen
Thomas Vincent

Promotion 2011

Brice Chevalier
Benjamin Martin
Florent Morineau
Olga Perederieieva
Thomas Pierrard
Sylvain Rosembly
Damien Sauvée

Promotion 2010

Ameera Aly Ismail
Erwan Delage
Paul Antoine Filippi
Olivier Hibon
Thomas Macdonald
Olivier Mullier
Etienne Storz

Promotion 2012

Thibaut Barthelemy
Alban Batard
Salim Bourouga
Arthur Brunel
Audrey Cerqueus
Milan De Cauwer
Alban Derrien
Axel Grimault
Julien Guay
Vincent Lara
Anthony Le Govic
Andreea Radulescu
Johan Volland

Devenir de nos diplômés

Sur base des 4 années écoulées, 50% des diplômés occupent des fonctions en entreprise, 50% préparent une thèse de doctorat. Dans les deux cas, il n'y a quasi pas d'attente entre la fin du master et la nouvelle activité. On trouve nos diplômés en région Pays de la Loire, en France métropolitaine et à l'étranger. Le bassin d'emploi du secteur privé concerne principalement des entreprises de production et de conseil du secteur de l'informatique et des mathématiques appliquées.

Quantitativement parlant, 37 étudiants furent diplômés sur les 4 promotions (2009-2012). Sur base de 34 devenirs connus de nos diplômés, on constate que :

50% sont en activité dans le monde académique (41,17% sur Nantes, 29,41% en France hors Nantes et 29,41% à l'étranger).

50% sont en activité en entreprises (41,18% en Pays de la Loire, 52,94% en France hors Pays de la Loire et 11,76% à l'étranger).

44,12% ont leur lieu d'activité en Pays de la Loire (38,24% sur Nantes, 5,88% sur Angers),

38,24% ont leur lieu d'activité en France hors Pays de la Loire,
20,59% ont leur lieu d'activité à l'étranger (11,76% en Europe, 8,82% hors Europe).





Nadarajen Veerapen

A Heuristic Selection Mechanism to Improve the Distribution of Non-dominated Fronts for the Multi-objective TSP

Master's thesis, University of Nantes, 2009
Stage Recherche, University of Nottingham (Royaume-Uni)
Tuteur : Dario Landa-Silva

Attaché temporaire d'enseignement et de recherche, Université d'Angers

« Avant même la fin de mon stage à l'université de Nottingham, j'ai décroché une thèse, financée par Microsoft Research, à l'université d'Angers. J'ai obtenu mon doctorat trois ans plus tard, fin 2012. Jusqu'à présent, mes travaux ont porté sur la conception d'algorithmes génériques, adaptatifs et autonomes en recherche locale pour des problèmes d'optimisation combinatoire et de satisfaction de contraintes. Au cours de ma thèse, j'ai eu la chance d'effectuer un séjour d'un mois à l'université australe du Chili à Valdivia. À la rentrée prochaine, je serai chercheur postdoctoral à l'université de Stirling en Écosse. »



Marie Pelleau

Sonet Network Design Problems

Master's thesis, University of Nantes, 2009
Stage Recherche, Brown University (USA)
Tuteurs : Pascal Van Henteryck et Charlotte Truchet

Docteur en informatique de l'Université de Nantes

« Lors de mon Master, j'ai eu l'opportunité d'effectuer mon stage à Brown University où j'ai pu travailler avec Pascal Van Henteryck et Charlotte Truchet. Suite à ce stage, j'ai poursuivi en thèse de doctorat à l'Université de Nantes dans le domaine de la programmation par contraintes (PPC). J'ai étudié les liens entre la PPC et un autre domaine de recherche : l'interprétation abstraite dont l'une des applications est la vérification de programmes. Je suis désormais Docteur de l'Université de Nantes et compte continuer ma carrière dans la Recherche en commençant par un stage postdoctoral. »

Etienne Storez

Aide à la décision pour l'organisation de voyages touristiques personnalisés

Rapport de stage, University of Nantes, 2010
Stage Appliqué, Decizium (Belgique)
Tuteur : Valérie Janssens

Ingénieur en optimisation, EURODECISION (Versailles)

« A la sortie de mon stage, fin juillet 2010, j'ai intégré EURODECISION en tant qu'ingénieur en optimisation. Détaché auprès du service de Recherche Opérationnelle (RO) d'Air France depuis 2 ans, je travaille aujourd'hui sur la planification du personnel navigant de la compagnie. La double compétence Informatique et RO acquise au cours de mon master me permet en effet de répondre au mieux aux problématiques d'optimisation industrielle rencontrées dans ma profession. »



Brice Chevalier

Design, Implementation and Experimental Study of a Branch-and-bound Algorithm for Numerical Multicriteria Global Optimization

Master's thesis, University of Nantes, 2011
Stage Recherche, National Institute of Informatics à Tokyo (Japon)
Tuteurs : Hiroshi Hosobe et Alexandre Goldsztejn

Ingénieur d'études, Wizcorp (Tokyo)

« Il s'agissait seulement de ma 2^e interview et 5 jours après avoir envoyé la lettre la compagnie m'a contacté, le lendemain je passais une interview et le soir même j'avais du travail. La compagnie s'appelle Wizcorp, une compagnie française localisée dans le centre de Tokyo qui compte 40 employés. On est 7 nationalités différentes dans mon équipe de développement qui compte 10 personnes. J'ai un salaire à 6 chiffres de Yens ! Je suis en charge de la conception et de l'intégration d'animations pour jeux sur mobiles. »



Des exemples de devenir de nos diplômés



Olga Perederieieva

Bound Sets for Bi-objective Bi-dimensional Knapsack Problems

Master's thesis, University of Nantes, 2011
Stage Recherche, Université de Nantes (France)
Tuteur : Xavier Gandibleux

Doctorante, University of Auckland (New Zealand)

« I graduated from The University of Nantes in June 2011 and left France in order to go to the other side of the planet - to New Zealand. Before that in April my supervisor Pr. Xavier Gandibleux introduced me to Pr. Matthias Ehrgott from The University of Auckland whose proposition changed my life. I was looking for a PhD position, but I could not expect a proposition from New Zealand. Now it is my second year of PhD. I work on multi-objective traffic assignment problem which is about modelling route choice behaviour of travellers in presence of several choice criteria. New Zealand is a great place not only for research, but also for various outdoor activities. »



Thomas Pierrard

Multi-Objective Artificial Immune System based on Hypervolume

Master's thesis, University of Nantes, 2011
Stage Recherche, CINVESTAV-IPN (Mexico)
Tuteur : Carlos Coello Coello

Ingénieur développement, SopraGroup (Nantes)

« Back from Mexico with my Curriculum Vitae updated, I had several interviews one after the other: EURODECISION, Optilogistic and uncountable SSII. I finally decided to remain in Nantes and chose the SopraGroup, where I have been working now for one and a half years. I first worked for the French Customs. My requests to undertake more challenging projects lead me to work on a project for Bouygues Telecom. More recently, I was assigned to a taskforce team on the SFR activation chain working closely with the SopraGroup branch in India. I'm now working on a project for the 'Ministère de la Défense', using IBM ILOG Optimization Software, OPL models, which is completely in keeping with my initial training in the Master ORO and I really enjoy it! »

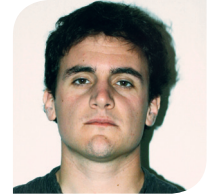
Axel Grimault

Disaster Operations Management: a Case Study in Bogota (Colombia)

Master's thesis, University of Nantes, 2012
Stage Recherche, Universidad de los Andes (Colombia)
Tuteurs : Andrés Medaglia et Raha Akhavan

Doctorant, École des mines de Nantes

« Issu d'une formation ingénieur généraliste, le Master ORO m'a permis d'aborder, de façon intelligible, des notions avancées en Informatique et Recherche Opérationnelle. L'opportunité des échanges internationaux du Master ORO m'a permis d'effectuer mon stage à Universidad de los Andes, Colombie sous la direction d'Andrés Medaglia et de Raha Akhavan. Cette expérience m'a permis de poursuivre vers une thèse de Doctorat à l'École des mines de Nantes sur la thématique d'optimisation des tournées de véhicules. »



Andreea Radulescu

Automatically Improving the Anytime Behaviour of Multiobjective Evolutionary Algorithms

Master's thesis, University of Nantes, 2012
Stage recherche, Université libre de Bruxelles (Belgique)
Tuteurs : Thomas Stützle et Manuel López-Ibáñez

Doctorante en bioinformatique, Université de Nantes

« Le master ORO est une des formations les plus polyvalentes en informatique. Mon parcours en témoigne. Pendant la deuxième année de master j'ai eu l'occasion de travailler dans le domaine de la configuration automatique des algorithmes évolutionnaires au laboratoire d'intelligence artificielle IRIDIA, à l'Université libre de Bruxelles. Attiré par la possibilité de mettre en pratique les connaissances acquises dans un but biologique, j'ai continué mes études avec une thèse de doctorat à l'Université de Nantes dans le domaine de la bioinformatique. Ainsi je compare des données génomiques pour découvrir des mutations correspondantes aux différentes pathologies étudiées par l'Institut THORAX de l'hôpital de Nantes. »



Quelques faits marquants (communications, publications, prix de nos étudiants)

Des communications et publications en conférences des travaux réalisés durant la 2^e année du master

- **Andreea Radulescu** (promotion 2012) a une communication à **EMO'2013** : 7th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, Sheffield UK. Elle s'intitule "Automatically Improving the Anytime Behaviour of Multiobjective Evolutionary Algorithms" (A. Radulescu, M. López-Ibáñez, T. Stützle). Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche à **I'IRIDIA (Bruxelles)**.
- **Milan De Cauwer** (promotion 2012) a une communication à **CP'2012** : 18th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. October 8-12 2012, Quebec city, Canada. Elle s'intitule "Weibull-based Benchmarks for Bin Packing" (I. Castiñeiras, M. De Cauwer, B. O'Sullivan). Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche **au 4C (Cork)**.
- **Thomas Pierrard** (promotion 2011) a une communication à **ICARIS 2012** : 11th International Conference on Artificial immune systems. August 28-31 2012, Taormina, Italy. Elle s'intitule "A Multi-Objective Artificial Immune System based on Hypervolume" (T. Pierrard, C. Coello Coello). Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche **au CINVESTAV (Mexico city)**.
- **Sylvain Rosembly** (promotion 2011) a eu une communication **aux GT2L** : Journées du GT Transport et Logistique, 14 juin 2011, Paris, France. Elle s'intitule "Route optimization of trucks for the building sector" (S. Rosembly, N. Bostel, P. Dejax). Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche à **I'IRCCyN (Nantes)**.
- **Benjamin Martin** (promotion 2011) a eu une communication à **EVOLVE 2011** : International workshop entitled "A bridge between Probability, Set Oriented Numerics and Evolutionary Computation", May 25-27, 2011 Bourglinster Castle, Luxembourg. Elle s'intitule "Coupling C-GRASP with Direct Search Methods" (B. Martin, X. Gandibleux, L. Granvilliers). Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche **au LINA (Nantes)**.
- **Olivier Mullier** (promotion 2010) a eu une communication à **CP'2010** : 16th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. September 6-10 2010, St Andrews, Scotland). Elle s'intitule "Including Ordinary Differential Equations Based Constraints in the Standard CP Framework" (A. Goldsztejn, O. Mullier, D. Eveillard, H. Hosobe Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche **au National Institute of Informatics (Tokyo)**.
- **Rodrigue Tchapnga Takoudjou** (promotion 2009) a présenté un poster à une **journée Université-Industrie** organisée à la Northeastern University sur ses travaux "Stabilizing the Delay-Induced Oscillations of Inventory Levels via Collaborations among Supply Chains" (R. Tchapnga , R. Sipahi, J.-J. Loiseau). Ce travail a été élaboré lors de son stage recherche à **la Northeastern University (Boston)**.

Des distinctions obtenues par nos diplômés

- **Salim Bourouгаа, Alban Derrien et Axel Grimault**, (promotion 2012) ont eu une communication à **ROADEF'2012** : 13^e congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Angers, France. Elle s'intitule « **Sur le calcul des solutions efficaces du problème bi-objectif de localisation de services sans contrainte de capacité** » (S. Bourouгаа, A. Derrien, A. Grimault, X. Gandibleux, A. Przybylski). Cette contribution, issue d'un travail réalisé en cours, est arrivée en **finale du concours « prix jeunes chercheurs ROADEF 2012 »**.
- **Marie Pelleau**, diplômée de la promotion 2009, a remporté le **Best Student Paper Award** à la conférence **CP'2011** (17th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming) **avec son article "Octagonal Domains for Continuous Constraints"** (M. Pelleau, C. Truchet, F. Benhamou).
- **Jérémie Dubois-Lacoste**, diplômé de la promotion 2009, a remporté le **Best Paper Award** de la conférence internationale **LION 4** (4th International Conference on Learning and Intelligent Optimization) **avec son article "Adaptive 'Anytime' Two-Phase Local Search"** (J. Dubois-Lacoste, M. López Ibáñez, T. Stützle).



Nantes

Université de Nantes — UFR Sciences — Department of Computer Science
Master informatique ORO - 2, rue de la Houssinière - BP 92208 - F44322 Nantes cedex 03 — France
+33 (0)2 51 12 58 58 (secretariat)

More information on our website

<http://oro.univ-nantes.fr>

or by email at minfo-oro@univ-nantes.fr



Bruxelles

Université libre de Bruxelles — Faculté des Sciences
Master informatique - Département d'informatique
Campus de la Plaine - ULB CP212, boulevard du Triomphe - B1050 Bruxelles — Belgique

Enseignements organisés à la faculté des sciences et à la faculté des sciences appliquées

<http://www.ulb.ac.be/facs/sciences/info/>

<http://www.ulb.ac.be/facs/sciences/info/erasmus-socrates.html>

Avec le soutien financier du Conseil Régional des Pays de la Loire



Graphisme : Nathalie Carré (www.studiocarvert.fr) - **Imprimeur :** La contemporaine - **Composition et coordination :** Xavier Gandibleux

Ayant participé à la rédaction : Nicolas Beldiceanu, Thierry Benoist, Bertrand Billoud, Laurent Bulteau, Brice Chevalier, Benoit David, David De Almeida, Yves De Smet, Michel Evain, Nathalie Faure, Bernard Fortz, Semi Gabteni, Xavier Gandibleux, Alexandre Goldsztejn, Axel Grimault, Evgeny Gurevsky, Claude Jard, Nolwenn Jézéquel, Julien Jorge, Sylvie Klinkemalli, Nathalie Le Calvez, Fabien Lehuédé, Christine Lelièvre, Jean-Jacques Loiseau, Benjamin Martin, Denis Montaut, Alain Nguyen, Sofiane Oussedik, Marie Pelleau, Olga Perederieieva, Laurent Perron, Thierry Petit, Thomas Pierrard, Caroline Pirard, Anthony Przybylski, Andreea Radulescu, Florian Richoux, Marie-Laure Rousselle, Iréna Rusu, Jean-Paul Sachet, Didier Scellier, Marc Sevaux, Nadège Souchereau, Francis Sourd, Étienne Storez, Thomas Stützle, Nadarajan Veerapen.

URL : www.visitbrussels.be - www.oro-carnets.com - www.flickr.com/photos/cch44 - www.edouardbride.com - univ-nantes.fr/pam - www.unmultimedia.org - www.mediatheque.orange.com - www.mediatheque-rff.fr - www.guidnet.com - www.laposte.fr/legroupe/Espace-Presse/Phototheque - www.airbus.com/presscentre/pressroom - mediatheque.psa.fr - www.sxc.hu