

1. Présentation de l'équipe

Equipe	Optimisation Combinatoire
Responsable	Marie-Christine Costa (depuis nov. 2014) ; A. Billionnet (auparavant).
Chercheurs permanents	C. Bentz (MCF, de sept. 2012) ; A. Billionnet (PR ENSIIE, émérite de sept. 2015) ; M.-C. Costa (PR ENSTA) ; S. Elloumi (MCF-HDR ENSIIE puis ENSTA, PR-ENSTA de Juin 2017) ; A. Faye (MCF-HDR, ENSIIE) ; A. Lambert (MCF) ; C. Picouveau (PR) ; A. Plateau (MCF) ; D. Porumbel (MCF, de Sept. 2014) ; E. Soutil (MCF) ; en disponibilité de sept. 2013 à sept. 2016).
Thèses soutenues (36 à 39 mois)	G. Cotté (Alloc, 2013-2016) ; C. Hervet (Cifre Orange, 2011-2014) ; T. Lefèbvre (Cifre Orange, 2013-2016) ; P.-L.Poirion (Alloc, 2010-2013) ; G. Tlig (Cotutelle Tunisie, 2010-2013) ; S. Tréfond (Cifre SNCF, 2011-2014) ; D. Watel (Proj. APPAS avec UVSQ et Supelec, 2011-2014).
Thèses en cours	B. Bou-Fakhreddine (Co-tutelle Liban, de nov. 2014) ; K. Colombier (CIFRE SpirOps de fév. 2017), E. Marie (Alloc. de oct 2014, avec Télécom ParisTech) ; H. Godard, (CIFRE RTE de oct. 2016) ; N. Helal (Alloc. de nov.2014, co-tutelle Université d'Artois) ; A. Lazare (Alloc. de oct. 2016) ; R. Lucas (CIFRE SNCF, de janv. 2017) ; M. Milliet de Faverges (CIFRE SNCF, de fév. 2017) ; T. Ridremont (Alloc. de oct. 2015, co-tutelle Canada).
Post-Docs ATER	E. Gladkish (15 mois, 2015-16) ; P.-L. Poirion (1 an, 2016) ; D. Watel (ATER ENSIIE, 2 ans sept. 2014- sept. 2016).
Chercheurs extérieurs	F. Jarray (PR Gabès, Tunisie) et G. Tlig (MCF Gabès Tunisie, de sept. 2013) ; P.-L. Poirion (Huawei, 10 % de temps-plein, de janv. 2017)
Invités	D. de Werra (1 mois) ; A. Frosini (1 mois) ; A. Hertz (5 semaines) ; M. Milanic (2 semaines).
Finances Sommes sur la période et pour l'équipe	Contrats terminés. Industriels : CAPSIM (58 K€) ; Cifre SNCF (21 K€) ; 2 Cifres Orange 1 (30 K€ et 24 K€). Institutionnels : 4 PGMO (28 K€, 12 K€, 12 K€, 4 K€) ; PHC (3 K€) ; DIGITEO (100 K€) ; ANR (20 K€) ; En cours. Industriels : France galop (13.5 K€) ; Cifre RTE (16 K€/an) ; Cifre SpirOps (5 K€/an) ; 2 Cifres SNCF 1 (5 K€ et 12 K€/an). Institutionnels : 2 GDR CNRS (2 K€, 2,5 K€) ; 1 PGMO (66 K€) TOTAL ≅ Contrats industriels 181 K€ + Contrats institutionnels 263 K€ + Subventions CEDRIC 75 K€.
Publications	39 revues internationales ; 31 conférences internationales sélectives avec actes ; nombreux séminaires invités et conférences nationales ou internationales peu sélectives.

Composition de l'équipe au 1 juin 2017 : 3 PR, 7 MCF (1 HDR), 1 professeur émérite, 9 doctorants.

Durant la période écoulée l'ENSIIE a définitivement coupé les liens officiels avec le CEDRIC ; le professeur responsable de l'équipe, A. Billionnet (ENSIIE) est parti à la retraite, C. Bentz (LRI Orsay) et D. Porumbel (Université d'Artois) ont été recrutés en mutation MCF (un remplacement suite à un départ en fin de période précédente, et un poste supplémentaire), E. Soutil est parti en disponibilité durant 3 ans, S. Elloumi (MCF ENSIIE) est partie 6 mois en CRCT (2013), a obtenu un détachement à l'ENSTA ParisTech (oct 2016), promue professeur ENSTA en juin 2017 et reste dans l'équipe. L'effectif est assez stable par rapport à la période précédente. Enfin, il faut noter que F. Jarray et G. Tlig (Tunisie) participent officiellement à nos travaux et que P.-L. Poirion reste chercheur extérieur de l'équipe avec l'accord de l'entreprise Huawei qui l'a recruté. Et trois bébés sont nés. Deux post-doctorants et un ATER ont été accueillis (pour 4 années en tout).

L'équipe a contribué aux responsabilités collectives : école doctorale informatique au CNAM, filières pédagogiques (IMO au CNAM et RO à l'ENSIIE), conseils du CNAM, présidence de la ROADEF, conseil scientifique de PGMO (+bureau et COPIL depuis 2017). Ses interactions avec l'environnement économique ont été importantes notamment par des activités de recherche à destination des entreprises (Orange, SNCF, RTE, EDF, SpirOps, Capsim). Elle s'est fortement impliquée dans la formation à et par la recherche avec la mise en place et la direction du Master Parisien de Recherche Opérationnelle (MPRO) (Cnam, ENSTA, Polytechnique, Telecom Paris, Ponts, ENSIIE). Ce master nous a aidés récemment à augmenter le flux de doctorants de l'équipe (4 nouveaux doctorants arrivés en 2016 et 2017).

Les échanges avec les autres équipes du CEDRIC sont nombreux : thèses co-encadrées avec MSDMA, Systèmes sûrs et MIM, stages avec LAETITIA. Des collaborations internationales et nationales suivies sont menées avec l'EPFL (Lausanne), le GERAD (Montréal), l'ULB (Bruxelles), les universités de Beyrouth (Liban), Florence (Italie), Gabès (Tunisie), Fribourg (Suisse) et Durham (RU), SUPELEC et les universités Paris-Sud, Paris-Nord, Paris-Dauphine, UVSQ.

L'équipe a publié 39 articles dans des revues internationales réputées, 31 articles dans des conférences internationales sélectives avec actes et plus de cinquante dans d'autres conférences internationales ou nationales et séminaires. Elle a été essentiellement financée sur contrats (Cifre, PGMO, GDR CNRS, industriels) pour une somme totale d'environ 444 K€ sur la période (certains contrats ont été signés à l'ENSIIE ou à l'ENSTA). Le financement institutionnel CEDRIC a été de 74,9 K€. Sept thèses, 15 stages de M2 et 6 de M1-recherche ont été soutenus. Une HDR sera soutenue en fin d'année.

L'équipe au complet se réunit 4 fois par an environ pendant une journée. Une partie importante de ces journées est consacrée à des présentations et discussions scientifiques auxquelles participent les doctorants. L'autre partie traite des questions d'organisation et des décisions à prendre: profil des postes à demander, budget prévisionnel, participations à des congrès, dépôts de projets, proposition de sujets de stages et de sujets de thèses, etc. Par ailleurs les membres de l'équipe organisent des réunions régulières par thématique. Les collaborations sont nombreuses entre les membres de l'équipe et les thèses préparées y sont co-encadrées et associent le plus souvent possible les maîtres de conférences.

2. Produits de la recherche et activités de recherche

Bilan scientifique

L'Optimisation Combinatoire est une discipline à la frontière de l'informatique et des mathématiques. La plus grande partie de nos travaux de recherche visent à utiliser des outils mathématiques et algorithmiques afin de trouver ou améliorer des solutions de problèmes d'optimisation discrète. Nous tentons donc de déplacer les frontières de la connaissance en mathématiques et informatique (50%) afin de participer à l'acquisition de connaissances ouvrant la voie à des applications identifiées, par l'élaboration de méthodes et de logiciels (20%) et de préparer des réponses directes à des enjeux sociaux et économiques en travaillant sur des applications diverses (30%). Outre les collaborations industrielles citées dans la section précédente, nous nous intéressons à des thèmes de société comme la protection de la biodiversité et les énergies renouvelables. Notre activité de recherche s'adresse également au monde académique à travers les questions scientifiques auxquelles nous essayons de répondre.

Les travaux de recherche de l'équipe se répartissent en deux axes ayant des interactions: « Programmation mathématique et applications » et « Graphes et optimisation ». Dans ces deux axes l'équipe développe à la fois des travaux théoriques, algorithmiques et appliqués ; c'est une des richesses de l'optimisation combinatoire de permettre l'imbrication de ces aspects.

Axe Programmation mathématique et applications. Il concerne essentiellement l'optimisation discrète (linéaire et non linéaire). Cette modélisation extrêmement générale permet de formuler de très nombreux problèmes d'optimisation combinatoire. Les principaux résultats de l'équipe concernent l'optimisation quadratique en variables mixtes (0-1, entières et continues), l'optimisation robuste prenant en compte l'aléa des données, et le traitement des problèmes de grandes tailles, avec diverses applications à des problèmes industriels et environnementaux ainsi qu'à la tomographie discrète.

Axe Graphes et optimisation. Les graphes constituent un outil mathématique fondamental de la Recherche Opérationnelle et l'équipe s'intéresse à des problèmes suffisamment généraux pour modéliser de nombreuses situations concrètes (couplages, ensembles stables, problème de Steiner,...). Elle cherche à déterminer la frontière entre problèmes ou sous-problèmes «faciles ou difficiles» (complexité des problèmes). Les travaux menés pour chaque problème visent à dégager des propriétés structurelles des solutions optimales, concevoir des algorithmes polynomiaux exacts, approchés avec garantie de performance ou de complexité paramétrée (algorithmes FPT).

Nous détaillons maintenant les grands thèmes développés dans l'équipe en citant les principales publications et collaborations associées. Les quatre premiers thèmes ont un enjeu très important en recherche opérationnelle et mobilisent de nombreux chercheurs dans le monde entier, le cinquième concerne des problèmes que l'équipe a fait émerger et qui sont maintenant étudiés par d'autres chercheurs. Le sixième concerne les applications qui sont issues du monde réel et ont été traitées en relations avec les entreprises concernées.

1. Optimisation non-linéaire en variables entières et réelles. L'idée clé est de reformuler le mieux possible, dans un cadre donné, ces problèmes d'optimisation très généraux et particulièrement difficiles, en problèmes dont la solution optimale est identique à celle du problème de départ mais beaucoup plus facile à obtenir. En effet, par construction, le problème reformulé possède des propriétés fortes comme la convexité ou la séparabilité ce qui permet notamment d'étendre les possibilités des solveurs actuels et même d'améliorer leurs performances. Dans la période 2012-2017, nous avons étendu, amélioré et testé cette approche en mettant l'accent sur le cas des problèmes quadratiques. Une contribution importante concerne l'extension aux cas des problèmes purement continus. Nous avons également conçu un algorithme spécifique efficace pour reformuler le problème, ce qui nous a permis d'augmenter la taille des problèmes traités. Une des approches consiste à «convexifier» le problème quadratique (qui est a priori non convexe) en utilisant la programmation semi-définie. Ces travaux ont donné lieu à plusieurs publications internationales dont 2 dans la revue phare du domaine (Mathematical programming) [BEL12,BEL13,BEL14,QS15,BLE16,BEL16a,ELA16,DEL17,GEL17] ; logiciel associé avec accès en ligne : SMIQP (Solution of Mixed Integer Quadratic Programs) [Lam12,Lam16].

2. Robustesse et prise en compte de l'aléa. Applications. L'optimisation robuste consiste à déterminer des solutions d'un problème d'optimisation en essayant de se protéger des incertitudes qui peuvent exister sur les différents paramètres du problème : les solutions doivent être «satisfaisantes» même lorsque les paramètres prennent les valeurs les plus défavorables. La robustesse peut concerner la faisabilité des solutions ou leurs valeurs. Une grande partie de l'équipe travaille sur ces sujets. Que ce soit pour des problèmes à scénarios ou à variables évoluant dans des domaines bornés, les modèles mathématiques obtenus sont généralement complexes et conduisent souvent à des programmes de type Min-Max ou bi-niveaux en variables mixtes, très difficiles à résoudre. Les méthodes de résolution proposées par l'équipe sont spécifiques avec des générations de contraintes/colonnes imbriquées. Nous avons obtenu des résultats généraux sur la programmation linéaire robuste en variables mixtes [BCP14] et nous avons apporté des solutions à des problèmes spécifiques dans les domaines suivants : le transport ferroviaire [TBE17] (thèse S. Tréfond, un logiciel SNCF), la conception et le câblage de parcs d'énergies renouvelables [BCP16,BCP17] (thèses P.-L.Poirion et T. Ridremont, collaboration GERAD (Montréal) et voir Thème 4), la commande de bassins hydro-électriques en chaîne sous données météorologiques rares ; utilisation de méthodes non linéaires et/ou de systèmes flous [BAM16b] (thèse B. Bou Fakhredine, logiciel d'aide à la décision, collaboration CNRS-Liban et équipe Systèmes sûrs), le design de réseaux en fibres optiques [HFC13] (thèse C. Hervet, un logiciel Orange primé), les tournées de véhicules [HPP17] (thèse N. Helal, collaboration Univ. D'Artois) et la biodiversité (quelles espèces protéger de façon à maximiser l'espérance de la diversité

phylogénétique) [BILa15]. Pour ces divers cas, l'incertitude est liée, respectivement, aux retards des trains, au climat, au risque de panne, à l'évolution de la demande et au risque d'extinction des espèces.

3. Résolution de problèmes de grandes tailles. Les méthodes classiques échouent à résoudre les très grands problèmes et l'idée est de réduire l'espace des solutions à l'aide de projections. On veut résoudre un programme linéaire (PL) de n variables et m contraintes lorsque m est trop grand pour résoudre PL directement. La première approche est de ne générer que des contraintes utiles à une génération de colonnes. Pour cela, on résout un sous-problème: trouver l'intersection entre un rayon et le polytope décrit par les m contraintes [Por16a]. Une application au problème difficile de couverture par des ensembles qui peut modéliser de nombreuses applications dont les tournées de véhicules, a été traitée [PC16, Por17, PGA17], (thèse de Nathalie Helal, en collaboration avec l'université d'Artois). L'autre approche utilise des projections qui permettent d'obtenir une solution approchée de PL avec une haute probabilité [LPV16]. Parallèlement, une procédure de résolution approchée efficace pour les problèmes de couverture en nombres entiers de grande taille, hybridant une heuristique d'approximation et un schéma de génération de colonnes a été élaborée et appliquée au transport ferroviaire et à la planification de production [ANP13]. Ces travaux originaux portent sur l'un des grands sujets actuels et montrent les liens entre recherche opérationnelle et sciences des données. Ils ont été publiés dans des revues internationales dont *Mathematical programming*.

4. Arbres et réseaux de Steiner sous contraintes de capacité - Application aux énergies renouvelables. Etant donné un graphe dont les arêtes sont valuées par des coûts, un sous-ensemble de sommets «terminaux» et une source, il s'agit de déterminer une arborescence ou un réseau de moindre coût couvrant les terminaux tout en respectant des contraintes de capacité sur les arêtes. Une application a été à l'origine de nos travaux, la recherche du câblage optimal d'un parc éolien : comment relier toutes les éoliennes à une sous-station pour collecter l'énergie qu'elles produisent en prenant en compte la quantité d'énergie maximale pouvant circuler sur chaque câble. Ce problème très général dont les enjeux économiques sont importants a mobilisé presque toute l'équipe au cours de la période en lien avec les thèmes 2, 3 et 6 et dans le cadre de plusieurs contrats PGMO (études théoriques et application EDF, en collaboration avec le GERAD-Montréal), et industriel (solution approchée pour Capsim) (Thèse de T. Ridremont, post-doc de P.-L. Poirion et E. Gladkikh) [BCP17, CFG17, RCP16, BCH16, BCH14, BCH14a]. Les résultats obtenus concernent, des études de complexité, l'identification de cas particuliers polynomiaux (algorithmes), la résolution par la programmation mathématique (modélisation et résolution par ajout de coupes) ou par des heuristiques pour les cas réels. Des variantes « robuste » du problème ont été abordées afin de considérer les occurrences de pannes: comment, à moindre coût, minimiser le nombre d'éoliennes déconnectées ou garantir que le réseau permette d'acheminer l'intégralité de la production d'énergie ? Modélisation par programmation en nombres entiers, résolution directe ou par la génération de colonnes et/ou de contraintes), programmation bi-niveau, heuristiques. L'ensemble du thème a donné lieu à diverses publications et à la réalisation de logiciels accompagnés de nombreux tests sur des données générées ou réelles.

5. Sous-ensembles d'éléments critiques dans les graphes. Il s'agit de déterminer des ensembles d'éléments (sommets ou arêtes) à sélectionner/protéger/détruire/étendre dans un système modélisé par un graphe G . Dans la première classe de problèmes traités en collaboration principalement avec l'EPFL et le LAMSADE, un paramètre de graphes est défini (nombre de stabilité, cardinal d'un couplage maximum, nombre chromatique) et un entier d est donné. Les problèmes de «bloqueurs» consistent à déterminer le nombre minimal d'éléments à modifier (suppression, ajout, contraction) de sorte à dégrader (diminuer ou augmenter) la valeur du paramètre de d unités [LMM12, BCPa12, PRP15, BBP15, PRP16, PRP17] (Thèse de G. Cotté). Dans les problèmes d'«extenseurs», il faut déterminer la taille minimale d'un graphe G tel que pour toute non-arête e de G il existe une structure couvrante de G (couplage parfait, 2-facteur,...) contenant e [PDC14, CdP16]. La deuxième classe de problèmes concerne l'arborescence de Steiner que l'orientation rend plus difficile que le cas de l'arbre : nous avons fourni le premier algorithme FPT vis-à-vis du nombre de terminaux s'exécutant en espace polynomial (collaboration avec SUPELEC et l'UVSQ) [WWB15, WWB16]. Les autres types de résultats obtenus sont, outre la mise en évidence des premiers problèmes qui ont été repris par d'autres chercheurs, des résultats de complexité et d'approximation, des algorithmes pour certaines classes de graphes, une classification des cas, ainsi que la caractérisation de certaines solutions optimales. On notera en annexe de ce thème la conception d'algorithmes polynomiaux pour décomposer des matrices binaires qui modélisent de nombreuses structures combinatoires (graphes, images, ...) [JP12, PF13, PFR13].

6. Programmation linéaire mixte et applications. Nous présentons sous ce thème diverses applications traitées au cours de la période et résolues par différentes approches (études de complexité, modélisation, utilisation directe de Cplex, méthodes de générations de coupes et/ou contraintes, branch-and-cut-and-price, heuristiques et méta-heuristiques) où la modélisation joue généralement un rôle central. Protection de la biodiversité et de la nature : application des méthodes d'optimisation à la sélection de réserves naturelles, maîtrise des effets néfastes engendrés par la fragmentation des paysages, maintien de la diversité génétique, planification culturelle et défrichement de forêt,... [Bil12, Bil13, Bil13a, BILa15, APS15, Bil16]. Réseaux de capteurs : trouver un ensemble minimal de capteurs qui puissent à la fois couvrir une zone modélisée par un graphe et assurer l'acheminement des informations collectées vers un point donné [EHM17] en collaboration avec l'équipe MIM (Thèse de E. Marie). Réseaux de télécommunications : optimisation de la conception et du routage, comparaison entre une technologie classique et une, récente, utilisant le codage réseau [EGL13, EGL14, BEG14, LBG15, BEG15] (Thèse Orange de T. Lefèbvre). Problèmes de transport : outre les applications SNCF mentionnées au thème 2, une application au transport aérien « aircraft landing problem » avec une discrétisation du temps et l'approximation de la matrice de séparation par une matrice de rang 2 [FAYa14] et une application au partage de taxis avec mutualisation des coûts [FW16, WF17]. Résolution de contraintes certifiée formellement : collaboration avec l'équipe Systèmes Sûrs [DER15]. Tomographie discrète. Résolutions de problèmes de reconstruction d'images binaires à partir de leurs projections [BTJ13, BJT16] Collaboration avec l'université de Gabès (Tunisie). Outre les résultats obtenus en transport et réseaux, il faut noter les nombreuses publications portant sur la protection de la biodiversité qui font de l'équipe une référence pour l'optimisation discrète dans ce domaine.

Faits marquants

Les résultats et analyses précédents présentent les travaux menés sur plusieurs années qui ont contribué à la renommée de l'équipe. Ces travaux au début abordés de façon « théorique » et publiés dans des revues internationales ont par la suite permis du transfert vers les entreprises à travers plusieurs contrats. Ils ont également permis aux chercheurs de l'équipe de développer des collaborations internationales. Nous soulignons ici les travaux plus significatifs et les plus prometteurs et renvoyons à l'Annexe 4 pour les précisions.

1. Optimisation quadratique. Logiciel SMIQP et publication associée 1. [BEL16a,Lam16] (Mathematical programming). L'équipe est reconnue pour avoir proposé une méthode originale faisant progresser la résolution de cette vaste classe de problèmes qui ont un enjeu économique important et sur lequel travaillent de nombreuses équipes dans le monde entier. Elle a été associée au projet européen COST et les chercheurs sont invités pour des tutoriaux ou des séjours à l'étranger. Le logiciel SMIQP, utilisé en ligne, permet de résoudre tout type de problème quadratique dont les plus grosses instances de l'état de l'art.

2. Biodiversité (alea et programmation discrète non linéaire). Publication associée 2. [Bil13] (Systematic biology A*). Le problème de l'Arche de Noé est un problème fondamental face à l'extinction massive des espèces. Il est étudié depuis une vingtaine d'années dans le monde entier et consiste à sélectionner dans un ensemble E donné, les espèces à protéger en priorité dans le but de conserver le mieux possible l'histoire évolutive de E . Nous avons proposé une méthode permettant de traiter des instances de grande taille ce qui n'était pas possible auparavant.

3. Résolution de problèmes de grandes tailles. Publication associée 3. [Por16a] (Mathematical programming). La méthode de projection proposée est originale et sophistiquée. Elle a permis de résoudre certains problèmes de couvertures sous contraintes de capacité de grandes tailles non encore résolus.

4. Robustesse et Energies renouvelables. Publication associée 4. [BCP14] (Discrete applied mathematics), logiciels et contrats. La prise en compte de l'aléa est particulièrement difficile lorsqu'une partie des variables est entière. L'équipe a proposé une approche générique et montré que l'hypothèse usuelle de recours complet n'était pas indispensable. Les énergies renouvelables en sont un domaine d'application évident compte-tenu des aléas météorologiques (programmation dynamique polynomiale pour résoudre le recours dans ce cas). Les chercheurs de l'équipe ont été invités à présenter des tutoriaux. Plusieurs contrats industriels conduisant à des réalisations ont été signés (aboutis SNCF, Orange, ou en cours EDF via PGM0).

5. Graphes. Publication associée 5. [BBP15] (Graphs and combinatorics). L'équipe a affirmé son expertise sur deux types de problématiques naturelles mais difficiles de l'optimisation dans les graphes : les problèmes de Steiner (arbres ou réseaux) et les problèmes de bloqueurs. La complexité et les aspects algorithmiques de ces problèmes ont été étudiés en profondeur, et la reconnaissance de l'expertise acquise a été attestée par de nombreuses publications et par différents indicateurs (direction d'un Groupe de travail, tutoriaux invités, édition d'actes de conférences).

6. MPRO Master Parisien de Recherche Opérationnelle (Responsabilité). Le lancement du MPRO en 2011-12, son intégration au master Informatique de Paris-Saclay et l'intégration de l'école des Ponts en 2013-14, tout en conservant le cœur du M2 au CNAM a demandé un gros investissement. Les aspects professionnels (partenariat avec des entreprises) y sont tout aussi importants que les aspects fondamentaux (liens avec les laboratoires). Le master attire d'excellents étudiants qui trouvent facilement un emploi dans le domaine (carrières professionnelles et académiques).

7. Présidence de la ROADEF (Association française de recherche opérationnelle et aide à la décision) pour les années 2016 et 2017 (secrétariat en 2014 et 2015). ROADEF regroupe plus de 400 adhérents et propose la plus grande conférence nationale annuelle du domaine.

3. Analyse SWOT

Points forts L'équipe travaille sur des thématiques bien identifiées ayant des interactions. Elle maîtrise la plupart des domaines importants de l'optimisation combinatoire ce qui lui permet d'être efficace sur un large spectre, en particulier dans des domaines émergents. De nombreux travaux communs lui donnent une grande cohésion et elle assure un encadrement soutenu des doctorants et stagiaires. Deux MCF ont été recrutés de l'extérieur (mutations) et deux post-doctorants ont été accueillis, conformément aux recommandations de l'AERES. Tous les membres de l'équipe publient dans des revues internationales réputées et ont des contacts industriels. Le MPRO permet à tous de participer à la formation par la recherche et d'attirer de bons étudiants. L'équipe a des collaborations nationales et internationales suivies et importantes. Elle mène ou va mener des travaux de recherche transverses avec plusieurs autres équipes du Cédric.

Points à améliorer Délibérément, après plusieurs échecs coûteux en temps et en l'absence d'aide administrative, l'équipe a renoncé aux projets européens ou nationaux pour se consacrer à des projets plus accessibles (CNRS, Cifre, PGM0) et des contrats industriels. Nous hésitons à modifier cette politique. Il n'y a pas eu de soutenance d'HDR durant la période (mais une HDR sera soutenue fin 2017). Une seule membre de l'équipe est partie 6 mois en CRCT : c'est insuffisant. Cela est en partie dû à la situation décrite au dernier point et devrait changer.

Possibilités offertes par le contexte / l'environnement Les interactions avec l'ENSTA Paris-Tech permettent à l'équipe d'avoir des liens forts avec PGMO (Programme Gaspard Monge pour l'Optimisation, la recherche opérationnelle et les sciences des données) et une ouverture vers les mathématiques appliquées avec des enjeux scientifiques et économiques importants en ce moment. Notons que l'équipe a en échange apporté beaucoup au développement et à la reconnaissance de la RO à l'ENSTA (porteur du MPRO sur Saclay). Le recrutement enfin annoncé d'un professeur au CNAM à la rentrée devrait permettre la réalisation de nos projets.

Risques liés au contexte / environnement Le départ de l'ENSIIE a été difficile à gérer. Deux professeurs de l'équipe sont ou seront prochainement à la retraite. La direction de l'équipe va donc changer à nouveau. Les départs du responsable de la chaire de RO (2013) et d'un professeur responsable de cours au CNAM (2016), et du professeur responsable de la RO à l'ENSIIE (2015), sans qu'aucun des trois n'ait été remplacé, surchargent les membres de l'équipe en tâches liées à l'enseignement et à l'administration. L'ENSTA et le CNAM sont éloignés géographiquement.

4. Projet scientifique à cinq ans

La composition de l'équipe va évoluer avec le départ en retraite de la responsable en mars 2018 et le recrutement annoncé d'un professeur au CNAM. Le reste de l'effectif devrait rester stable. Notons que les deux professeurs qui seront en retraite n'envisagent pas l'arrêt prochain de leurs travaux au sein du CEDRIC.

Concernant notre projet de recherche, deux thèmes présents précédemment disparaissent : la tomographie discrète et les réseaux de télécommunications. Cela risque de remettre en cause notre collaboration avec Gabès mais des solutions avec une réorientation des travaux communs sont envisagées. Les travaux sur la localisation, liés au travail sur les réseaux de capteurs *en collaboration avec l'équipe MIM* doivent se poursuivre (*thèse E. Marie*). Cela peut ouvrir d'autres perspectives par la suite. Les autres thèmes seront toujours présents et de nouveaux émergent.

1. Optimisation non-linéaire en variables entières et réelles. Extension et adaptation de l'approche décrite auparavant à la prise en compte d'objectifs et de contraintes de degré supérieur à 2 (*thèse académique d'A. Lazare débutée en oct. 2016*). Travail sur la résolution, par le même type d'approche, de problèmes de grande taille dans le domaine de la génération et du transport d'électricité (*collaboration avec l'entreprise RTE, thèse cifre d'H. Godard*).

2. Robustesse et prise en compte de l'aléa. Applications. Il y a encore beaucoup à faire pour la prise en compte des aléas en optimisation discrète et l'équipe continuera donc sur ces sujets d'actualité, dans plusieurs directions.

2.a. Câblage robuste de parcs éoliens (Steiner robuste). Les travaux sont en cours et à la demande d'EDF nous tentons de prendre en compte les contraintes électriques de loadflow non linéaires et compliquées. L'extension des méthodes que nous élaborons pour ce problème à des problèmes génériques de type Min-Max en variables discrètes concerne la dernière partie de la *thèse académique de T. Ridremont en co-tutelle avec le GERAD (Canada)*.

2.b. Planification adaptative pour l'exploitation ferroviaire. Les plans de transport élaborés à l'avance posent des problèmes d'exploitation face aux fréquentes perturbations. Des études débutent dans deux services SNCF (*thèses cifre de M. Millet, collaboration avec MSDMA et de R. Lucas*) afin de repenser les modèles de recherche opérationnelle pour en augmenter la robustesse et le réalisme, en intégrant des résultats obtenus grâce à des méthodes d'apprentissage statistiques. Quels nouveaux problèmes d'optimisation vont apparaître ? Quels outils d'évaluation faut-il élaborer ?

2.c. Planification en contexte incertain. Un travail vient de commencer sur les calendriers sportifs (*Stage M2 A. Houdayer qui doit se poursuivre en thèse cifre pour France-Galop en octobre 2017*).

2.d. Commande de bassins hydroélectriques en cascade. Poursuite des travaux autour de la *thèse de B. Bou-Fakhreddine* (à soutenir en novembre 2017) *en collaboration avec le CNRS-Liban et l'équipe Systèmes sûrs*.

3. Résolution des grands problèmes. Continuer et approfondir les travaux dans ce domaine est l'un de nos objectifs. L'optimisation discrète pour les «données massives» en est à ses défrichements et il y a beaucoup à faire, en liaisons avec les spécialistes de «Data Sciences». La double compétence n'existe pas encore mais l'ENSTA ParisTech recrute actuellement un chercheur de thématiques proches qui travaillera en partie avec l'équipe. Nous avons ouvert cette année un cours de M2 en RO et Données massives qui va orienter nos recherches vers d'autres horizons de la RO.

4. Biodiversité. Une étude en cours porte sur l'incidence de la valeur des probabilités d'extinction attribuées aux différentes catégories d'espèces, définies par la liste rouge de l'UICN, sur le choix des espèces à protéger en priorité pour maintenir le plus possible la diversité phylogénétique. Les résultats actuels sont un peu surprenants vis-à-vis des travaux habituels des spécialistes du domaine et doivent être confirmés. Un livre complet sur le thème est en cours d'écriture.

5. Simulation du processus de planification humain. Il s'agit de concevoir un planificateur proche d'une réflexion humaine. Ainsi le but n'est pas de trouver le plan parfait mais une solution convenable qui pourrait être trouvée par un homme. Une *thèse en collaboration avec l'équipe MIM* vient de commencer (*K. Colombier*). D'une façon plus générale, trouver des solutions algorithmiques de problèmes d'optimisation combinatoire proches de celles que concevrait un humain aiderait grandement à la prise en compte de nos méthodes dans le monde industriel et économique.

6. Steiner, extenseurs et autres problèmes de graphes. Les travaux en cours sur les extenseurs, bloqueurs et ensembles dominants seront poursuivis (*collaborations EPFL, Koper-Slovénie, Paris-Dauphine et Fribourg*). Il serait intéressant de proposer une vision globale de ce type de problèmes. Par ailleurs, les problèmes de Steiner sous contraintes de capacité sont loin d'avoir été entièrement explorés et résolus, même sans robustesse, alors que le sujet est important : les compétences de l'équipe dans le domaine devront être utilisées.