

Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et
de l'Enseignement Supérieur



DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION

Équipe DECISION



Campagne d'évaluation 2023-2024 — Vague D

Table des matières

1	INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE DECISION	3
1.1	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	3
	Modélisation pour l'aide à la décision	3
	Apprentissage pour l'aide à la décision	4
	Optimisation pour l'aide à la décision	5
2	INTRODUCTION DU PORTFOLIO	7
3	AUTOÉVALUATION DU BILAN	8
3.1	Autoévaluation de l'équipe	8
	Domaine 2. Attractivité	8
	Domaine 3. Production scientifique	10
	Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société	11
4	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES	13
5	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE DECISION	14
A	ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022	17

1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE DECISION

Nom de l'équipe : Décision (DECISION)

Responsable de l'équipe : Patrice Perny

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PR	3	3	2	1	1	1
MCF HDR	2	2	2	1	1	1
MCF	2	3	4	4	4	4
DR	0	0	0	0	0	0
CR HDR	0	0	0	0	0	0
CR	1	1	1	1	1	0
Total permanents	8	9	9	7	7	6
Émérites	1	1	1	1	1	2
Doctorants	6	4	5	7	7	7
Ingénieurs CDD ou hors tutelles	0	0	1	0	0	0
Post-doc, ATER, etc.	1	1	0	0	1	2
Stagiaires	8	3	10	6	2	0
Total non permanents	15	8	16	13	10	9
Total avec émérites	24	18	26	21	18	17
Equivalent temps plein recherche	4.5	5.0	5.0	4.0	4.0	3.0

TABLE 1 – Personnels DECISION sur la période 2017-2022 (au 1er juillet de chaque année)

1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe DECISION conçoit et développe des modèles et des algorithmes pour la prise de décision dans des environnements complexes. Les principales sources de complexité étudiées concernent la prise en compte de l'incertitude (raisonnement et décision dans l'incertain), d'objectifs multiples (décision multicritère), de plusieurs individus (décision collective et choix social) et de contraintes structurelles sur l'espace des solutions (domaines combinatoires ou continus). Les applications potentielles de ces travaux concernent les systèmes d'aide à la décision (préparation scientifique de décisions humaines), la décision automatique (agents décisionnels autonomes) et l'optimisation dans les grands systèmes (télécommunication, transport, énergie). Nous considérons des modèles de décision interprétables qui puissent servir de support à une explication ou une justification des recommandations produites.

En informatique, la thématique de la décision est particulièrement présente dans les communautés intelligence artificielle (IA) et recherche opérationnelle (RO), tant au niveau national dans les conférences (AFIA, ROADEF) et dans les GDR RADIA (Raisonnement Apprentissage et Décision en IA) et ROD (RO et Décision) avec les groupes de travail TADJ (*théorie algorithmique de la décision et des jeux*) et ATOM (*application et théorie de l'optimisation multiobjectifs*), qu'au niveau international dans l'*EURO working group on Preference Handling* et les conférences généralistes et journaux internationaux des deux domaines. On peut citer également quelques conférences spécialisées comme ADT (Algorithmic Decision Theory) et workshops comme M-Pref (Preference Modeling), DA2PL (Preference Learning), COMSOC (Computational Social Choice) auxquels l'équipe participe activement.

Les travaux de l'équipe DECISION concernent les fondements théoriques des modèles décisionnels et l'algorithmique de la décision. Ils portent aussi bien sur les aspects IA (représentation et apprentissage de préférences, décision multiagent et choix social, modèles graphiques probabilistes, planification dans l'incertain, recherche heuristique) que RO (optimisation combinatoire, optimisation multicritère et/ou collective, complexité, modélisation des préférences) et nous publions dans les deux domaines. Dans l'organisation actuelle du LIP6, cette activité concerne, à parts sensiblement égales, le thème AID (IA et Sciences des Données) et le thème TMC (Théorie et outils mathématiques pour l'informatique). Les travaux de l'équipe s'articulent autour de trois axes complémentaires qui sont la modélisation, l'apprentissage et l'optimisation pour l'aide à la décision. Nous donnons ci-dessous quelques exemples représentatifs des résultats obtenus sur la période 2017-2022.

Modélisation pour l'aide à la décision

Modélisation des préférences individuelles et collectives. L'analyse et la modélisation des préférences est un thème de recherche traditionnel de l'équipe, qu'il s'agisse de modéliser l'attitude d'agents face au risque, la logique d'agrégation d'un décideur en présence de plusieurs critères (importance et interactions entre critères), ou encore

d'analyser la structure des préférences d'un groupe, ou définir une préférence sociale à partir de préférences individuelles. Nous mentionnons ci-dessous quelques exemples de travaux effectués ces dernières années en modélisation :

- ▶ nous avons travaillé sur la modélisation de l'équité dans des problèmes d'optimisation multiagents en présence d'échelles de valuations bipolaires (échelles qui admettent des parties positives et négatives traitées différemment dans l'agrégation) et étudié l'apport de l'agrégateur bi-OWA (version bipolaire de OWA) pour contrôler l'équilibre des satisfactions entre les agents [Martin and Perny, 2019a]; nous avons également abordé, en collaboration avec l'équipe PHARE, la modélisation de problèmes d'allocation équitable de ressources dans les réseaux 5G (network slicing) [Fossati et al., 2020];
- ▶ nous avons étudié, en collaboration avec l'équipe SMA, des problèmes de partage de ressources où les agents appartiennent à différents groupes/types dans des contextes où il existe une relation spatiale entre les ressources. Nous avons proposé un nouveau modèle de préférences permettant de rendre compte du biais d'homophilie [Gross-Humbert et al., 2023];
- ▶ nous avons proposé et étudié, en collaboration avec l'équipe RO, des relaxations de la notion de préférences unimodales dans le cadre de la décision collective et de l'analyse des structures de profils de préférences [Escoffier et al., 2020]. L'unimodalité a été généralisée à des parcours de graphe. Nous avons aussi introduit une nouvelle mesure de distance à l'unimodalité avec une interprétation intuitive et comparé les différentes mesures existantes;
- ▶ toujours en décision collective, nous nous sommes intéressés à des règles d'agrégation qui étendent la notion de rangement médian (minimisant le tau de Kendall) en comptant le nombre de désaccords sur des *sous-ensembles* d'alternatives de taille quelconque [Gilbert et al., 2020, Gilbert et al., 2022c], et nous avons également envisagé et justifié une version de la règle où les désaccords sont pondérés selon la taille des sous-ensembles considérés [Durand et al., 2022].

Modèles graphiques probabilistes. Concernant les modèles graphiques probabilistes, nous avons travaillé à la production de nouveaux langages de formalisation de problèmes permettant une plus grande expressivité, une meilleure compacité, un nouveau paramétrage. Cette tâche implique aussi d'étudier et d'améliorer les algorithmes de résolution dédiés à cette formalisation. Par exemple, concernant les travaux sur les processus de décision factorisés, nous avons proposé une modélisation plus compacte que celle de l'état de l'art [Magnan and Willemin, 2017]. Un autre exemple concerne les modèles graphiques probabilistes continus non paramétrés où l'utilisation de copules modifie drastiquement le modèle et son expressivité [Lasserre et al., 2021c]. Concernant maintenant la formalisation de problèmes concrets, nous avons mené des travaux avec l'INRIA sur l'utilisation des ontologies pour aider à une modélisation probabiliste de processus biologiques [Munch et al., 2022a, Munch et al., 2021], et dans le cadre d'un projet européen (MIDAS), nous nous sommes intéressés à la modélisation de systèmes distribués qui permet un pilotage adaptatif et probabiliste des campagnes de tests fonctionnels de tels systèmes.

Modélisation du contexte. Une analyse et compilation de travaux menés dans l'équipe sur la modélisation et l'utilisation du contexte dans les applications de taille réelle est en cours, menée par un professeur désormais émérite de l'équipe. Ces travaux ont fourni un cadre conceptuel robuste qui va jusqu'à une implémentation des graphes contextuels dans un logiciel utilisé dans de multiples projets; ils sont décrits dans trois chapitres du livre "Modeling and Use of Context in Action" [Brézillon and Turner, 2022c]. et dans une monographie de 55 pages en préparation chez Springer. Nous avons également travaillé sur l'utilisation des graphes contextuels dans l'anonymisation des données dans les bases de données [Tahir and Brézillon, 2022].

Apprentissage pour l'aide à la décision

L'apprentissage de modèles est certainement l'aspect que nous avons le plus développé ces dernières années dans nos activités, qu'il s'agisse de modèles de préférences et de décision ou de modèles graphiques (en particulier les réseaux bayésiens).

Apprentissage de préférences et de modèles décisionnels. Les modèles décisionnels que nous manipulons ont une forme mathématique bien établie mais utilisent divers paramètres pour adapter le comportement induit par le modèle au système de valeur du décideur (modélisation de ses préférences) ou à celui qu'on veut transmettre à la machine (décision automatique). Ces paramètres sont interprétables et impactent fortement sur les décisions prises. Il est donc essentiel de disposer de techniques permettant de configurer les paramètres préférentiels d'un modèle de décision. On parle parfois de *Preference Bottleneck* [1] pour évoquer cette tâche nécessaire et délicate. Nous avons choisi de développer très activement cet axe en proposant d'une part des techniques d'élicitation interactive des préférences (protocoles de questionnement automatisés qui permettent de construire interactivement

un modèle des préférences) et des méthodes d'apprentissage automatique pour estimer les paramètres à partir d'exemples. Plusieurs thèses ont été soutenues ou sont en cours sur ce sujet (voir dans le portfolio le prix de thèse AFIA 2018 et les références associées). Donnons quelques exemples de résultats :

- ▶ nous avons d'abord travaillé sur l'élicitation incrémentale de préférences par minimisation de regrets pour différents modèles de décision sophistiqués et dans différents contextes (multicritère, choix social, risque). Nous avons ainsi abordé l'élicitation des pondérations (capacités) pour les intégrales de Choquet [Benabbou et al., 2017] et de Sugeno, du modèle *Weighted Expected Utility* [Gilbert et al., 2017] pour la décision dans le risque, l'apprentissage actif des fonctions de Gini [Bourdache and Perny, 2019a] pour la décision équitable, enfin l'élicitation par questions sur des ensembles [Viappiani and Boutilier, 2020].
- ▶ nous avons étudié des approches tolérantes aux erreurs de réponses du décideur, pour l'élicitation des préférences, comme la régression linéaire Bayésienne [Bourdache et al., 2019b].
- ▶ nous avons travaillé sur la combinaison de ces procédures d'élicitation incrémentales avec des schémas généraux de résolution pour l'optimisation combinatoire exacte ou approchée. Cette approche a été appliquée au branch and bound et à la programmation dynamique pour l'optimisation multicritère ou dans l'incertain [Benabbou and Perny, 2017, Benabbou and Perny, 2018], aux approches gloutonnes et à la recherche locale, par exemple pour l'optimisation de fonctions modulaires et sous-modulaires sous contraintes de matroïde [Benabbou et al., 2021b], enfin aux algorithmes génétiques pour l'optimisation combinatoire multicritère [Benabbou et al., 2020d].
- ▶ nous avons développé de nouvelles approches pour l'apprentissage automatique de modèles décisionnels autorisant des interactions multiples entre les éléments (critères, objets) à partir de bases d'exemples de préférences. Nous avons en particulier étudié l'apprentissage parcimonieux de modèles fondés sur les intégrales de Choquet [Herin et al., 2022c] en visant à révéler les interactions significatives entre les critères ; nous avons également abordé l'apprentissage ordinal robuste de préférences définies sur des ensembles [Gilbert et al., 2022a] via le modèle de Fishburn et Lavalley [3].

Apprentissage dans les modèles graphiques. Dans le cadre de l'apprentissage de modèles graphiques probabilistes, nous avons proposé un nouvel algorithme d'apprentissage de réseaux bayésiens capable d'apprendre des modèles dans un cadre non stationnaire, c'est-à-dire quand les distributions de probabilité évoluent au cours du temps [Hourbracq et al., 2017]. Nous avons également proposé de nouveaux algorithmes d'apprentissage de modèles graphiques continus, mais sans hypothèse de distribution paramétrée (pas d'hypothèse gaussienne, etc.) en utilisant le formalisme des copules. Ne pas supposer de paramétrage de la loi continue (comme pour des distributions gaussiennes, etc.) implique une difficulté accrue dans l'élicitation de la représentation de la distribution jointe continue [Lasserre et al., 2021b]. De manière plus appliquée, avec les hôpitaux de Paris et la société TERANGA, nous nous attachons à apprendre statistiquement la distribution de certains événements non favorables pour des patients âgés dans des bases de données de grande taille [Charon et al., 2022a]. Enfin, dans le cadre des processus décisionnels markoviens factorisés, nous avons développé des algorithmes d'apprentissage par renforcement des nouveaux modèles que nous proposons [Magnan and Wullemmin, 2017].

Optimisation pour l'aide à la décision

Optimisation fondée sur les préférences. Nous avons travaillé sur la détermination de choix optimaux au sens d'un modèle décisionnel dans différents contextes. Nous listons ci-dessous quelques exemples :

- ▶ pour l'optimisation équitable, nous avons montré la NP-difficulté du problème de l'affectation OWA-optimale et identifié des cas polynomiaux [Lesca et al., 2018]. Nous avons aussi étudié et comparé différentes techniques de linéarisation des OWA [Vo et al., 2022] et travaillé sur la prise en compte de l'équité dans le problème des mariages stables [Gilbert and Spanjaard, 2019b].
- ▶ nous avons exploité une vision théorie des jeux pour l'optimisation du critère SSB de Fishburn [2] d'une part et du critère de regret minimax de Savage d'autre part [Gilbert and Spanjaard, 2017c] (voir aussi l'élément 4 du portfolio).
- ▶ pour l'optimisation multicritère, nous avons développé une nouvelle méthode (ND-Tree) pour le problème de la vérification dynamique de la dominance de Pareto [Jaszkiewicz and Lust, 2018a]. ND-Tree a depuis été utilisé dans divers algorithmes évolutionnaires multi-objectifs ou des algorithmes nécessitant la mise à jour d'une archive de points non dominés. Nous avons également développé des méthodes heuristiques en deux phases pour le problème du voyageur de commerce bi-objectifs [Jaszkiewicz and Lust, 2017] et le problème de routage de véhicules bi-objectifs [Costa et al., 2018].

- nous avons proposé des programmes linéaires en variables mixtes pour la recherche de solutions optimales au sens d'un agrégateur bi-OWA et bi-Choquet [Martin and Perny, 2020], et aussi pour résoudre des problèmes d'amélioration de coût minimum et de recherche de stabilité à gain maximum dans des problèmes de tri ordonné [Benabbou et al., 2021e].

Optimisation dans les modèles graphiques. Pour des inférences rapides dans les réseaux bayésiens, il est essentiel d'exploiter les indépendances pour éviter des calculs inutiles. Nous avons ainsi proposé de nouvelles règles efficaces et interprétables [Butz et al., 2018] et une extension des réseaux bayésiens permettant de combiner efficacement variables discrètes et continues [Cortijo and Gonzales, 2017]. Par ailleurs, nous avons proposé de nouvelles représentations en tenseurs de rang faible des paramètres de réseaux bayésiens de grande taille, qui aboutissent à des algorithmes performants d'inférence dans de tels modèles graphiques de grande taille (en particulier, pour les réseaux bayésiens dynamiques) [Ducamp et al., 2020b, Ducamp et al., 2020c]. Tous ces modèles et algorithmes sont implémentés et accessibles via la librairie open-source aGrUM (voir portfolio). Nous avons également développé des variantes des algorithmes de recherche de stratégie optimale dans des processus décisionnels markovins de grande taille à l'aide d'une nouvelle modélisation factorisée [Magnan and Willemin, 2017].

Formulations étendues en nombres entiers mixtes de problème d'optimisation combinatoire. Nous avons étudié de nouvelles formulations étendues s'adaptant mieux aux caractéristiques de l'algorithme de Branch-and-Bound pour la résolution exacte de problèmes d'optimisation combinatoire. Par exemple, nous avons présenté une nouvelle façon de résoudre le problème Max-Cut (un des problèmes fondamentaux de l'optimisation combinatoire) par un algorithme de branch-and-bound en se basant sur un MIP de taille linéaire [Nguyen and Minoux, 2020] (voir l'élément 3 du portfolio). Nous avons aussi développé la première formulation MIP pour le problème d'automatisation des activations de pompage dans les stations de distribution d'eau potable en minimisant l'énergie électrique utilisée. Avant ce travail, le problème était résolu seulement par un schéma d'énumération. La résolution par MIP que nous avons expérimentée a permis d'améliorer nettement le temps CPU. Notre article a obtenu le "Best Paper Award" [Wu et al., 2021a].

Optimisation de fonctions convexes séparables sous contraintes d'ordre. Ce problème, parfois appelé régression isotonique, est un problème classique bien résolu, mais tous les algorithmes existants supposent que l'on peut évaluer la fonction à un point quelconque en temps constant. Cette hypothèse n'est plus valable quand chaque point est associé à un volume important des données historiques comme dans le problème d'optimisation des contrats électriques que nous avons étudié ; nous avons proposé un algorithme capable de s'adapter aux grands volumes de données [Wu et al., 2021b].

Optimisation de réseaux de distribution d'énergie et optimisation robuste. Des modèles d'optimisation ont été développés au cours des deux dernières années pour résoudre divers problèmes importants dans la gestion des réseaux de distribution d'énergie électrique, en particulier :

- la recherche de l'état en tension d'un réseau soumis à des injections/soutirages en différents noeuds (problème dit du "Load Flow"). Il s'agit d'un problème non linéaire pour lequel une méthode innovante "en deux phases" a été proposée [Minoux et al., 2022].
- le problème de la régulation de tension dans un réseau de distribution arborescent modélisé comme un problème de minimisation d'une fonction objectif (à base de norme Linfini) sous des contraintes non-linéaires. La méthode de résolution proposée est fondée sur une technique de linéarisations successives à convergence très rapide [Minoux et al., 2023].

Par ailleurs, nous avons travaillé sur des problématiques d'optimisation robuste, motivées par diverses applications. Nous avons par exemple abordé des problèmes d'optimisation de production et de gestion de stocks [Minoux, 2017b], d'optimisation des contrats électriques [Wu et al., 2021b] et le problème des activations de pompage dans les stations de distribution d'eau potable sous incertitude concernant les demandes de consommation (thèse de David Wu).

Nouveaux modèles et algorithmes pour le problème de l'arbre de Steiner Euclidien. En collaboration avec l'UFRJ (Rio, Brésil), nous avons proposé trois modèles pour ce problème, dérivés du modèle classique via des reformulations et linéarisations. [Ouzia et al., 2023]. À partir de ces modèles, 4 relaxations convexes ont été dérivées. L'idée derrière ces propositions était de pouvoir calculer des solutions réalisables (arbres de Steiner) et des bornes sur la longueur des solutions trouvées. Les résultats numériques ont conduit à des algorithmes de résolution efficaces. Dans [Ouzia and Maculan, 2021], un nouveau modèle conique-second-ordre a été développé pour le même problème. Deux stratégies destinées à éliminer les arbres de Steiner isomorphes ont été également proposées.

2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Le portfolio se compose d'un prix de thèse en Intelligence Artificielle qui illustre les travaux menés dans l'équipe sur l'aspect élicitation et apprentissage de préférences, d'une bibliothèque logicielle développée par l'équipe pour manipuler des modèles graphiques probabilistes et de deux articles sur l'optimisation combinatoire et l'algorithmique de la décision qui sont représentatifs de nos travaux sur l'axe optimisation pour l'aide à la décision.

- ▶ **Élément 1 (distinction)** : décerné par l'AFIA en 2018 pour la thèse de Nawal Benabbou (supervision Patrice Perny) sur l'élicitation incrémentale de préférences pour la décision multicritère ou collective et la décision dans l'incertain.
- ▶ **Élément 2 (bibliothèque logicielle)** : AGRUM/pyAgrum, une bibliothèque logicielle pour la manipulation de modèles graphiques développée par Christophe Gonzales, Pierre-Henri Wuillemin et leurs étudiants.
- ▶ **Élément 3 (publication)** : "Linear size MIP formulation of Max-Cut : new properties, links with cycle inequalities and computational results", Viet Nguyen et Michel Minoux, *Optimisation Letters*, 2022.
- ▶ **Élément 4 (publication)** : "A double oracle approach to minmax regret optimization problems with interval data", Hugo Gilbert et Olivier Spanjaard, *European Journal of Operational Research*, 2017.

3 AUTOÉVALUATION DU BILAN

3.1 Autoévaluation de l'équipe

Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

Participation à des PC de conférences.

- ▶ Les membres de l'équipe sont régulièrement impliqués comme PC ou Senior PC member dans les conférences internationales d'IA de premier plan telles que IJCAI, AAAI, UAI, ECAI, AAMAS ou des workshops spécialisés comme DA2PL, M-PREF, COMSOC, CoopMAS, FAMAS. L'équipe compte aussi un Area Chair de l'IJCAI en 2019.
- ▶ Chaque année l'équipe est impliquée dans le PC des conférences ROADEF et JFRB.
- ▶ Nous participons aux CP de conférences internationales de RO tel que COCOA 2018, 2019 et 2020, ICDCS 2019, COCOON 2019, AAIM 2021, WCO 2019, ICCASAMA 2019, RNDM 2022.

Participation à des instances de pilotage de la recherche et d'expertise scientifique.

- ▶ Nous participons au steering committee du *Euro Working Group on Preference Handling* (groupe de travail EURO) et celui de la conférence Algorithmic Decision Theory (ADT), au conseil scientifique du GDR RO et au conseil scientifique du PGMO (Programme Gaspard Monge pour l'optimisation, la recherche opérationnelle et leurs interactions avec les sciences des données).
- ▶ L'équipe est impliquée dans l'animation et la co-responsabilité du GT TADJ (Théorie Algorithmique de la Décision et des Jeux) commun aux GDRs RADIA et ROD, ainsi que des groupes de travail ATOM (Algorithmique et théorie de l'optimisation multi-objectifs) et "Optimisation dans les réseaux" du GDR ROD.
- ▶ L'équipe est impliquée dans le comité de sélection de bourses post-doctorales européennes depuis 2021 (EUTOPIA-SIF Post Doctoral Fellowship), le jury du prix de thèse PGMO 2019, le comité du meilleur article étudiant à la conférence ROADEF 2018.
- ▶ Un membre de l'équipe est Editor-in-Chief of the interdisciplinary e-review Modeling and Using Context at ISTE depuis 2016.
- ▶ L'équipe est présente dans *l'editorial board* de la revue JAIR (Journal of Artificial Intelligence Research) et celui de EURO Journal of Decision Processes (EJDP).
- ▶ L'équipe est sollicitée pour des évaluations de projets en Intelligence Artificielle pour la National Scientific Foundation of Ireland, le *Polish National Science Centre* et le *Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC)*.
- ▶ L'équipe compte un évaluateur des projets STIC AmSud 2019 et des projets Vingroup Innovation Foundation (Vietnam) 2020, et un membre du Conseil Académique et de la Commission Recherche de Supmicrotech-ENSMM.

Organisation de manifestations scientifiques.

- ▶ L'équipe comprend un membre qui fut co-chair de la conférence CONTEXT 2017 à Paris.
- ▶ L'équipe a organisé à Sorbonne Université l'école thématique CNRS sur le thème "Preferences, Decision and Games" en Juin 2018, <https://decisionschool.lip6.fr/>.
- ▶ L'équipe a organisé APUD'22 (première journée utilisateurs d'aGrUM) et participé au comité d'organisation de Maxentropy'22.
- ▶ Nous co-organisons régulièrement les journées des groupes de travail TADJ (GDR RADIA et ROD) et ATOM (GDR ROD).

Prix, distinctions.

- ▶ prix de thèse de l'AFIA 2018, (Elément 1 du portfolio).
- ▶ best paper award, RIVF 2021 [Wu et al., 2021a].
- ▶ Springer best paper award, SUM 2019 [Martin and Perny, 2019b].
- ▶ deux membres de l'équipe sont co-auteurs d'un DAS student paper award from the Decision Analysis Society of INFORMS en 2021 [Bertani et al., 2019].
- ▶ prix ROADEF du mémoire de master RO/AD 2018 encadré dans l'équipe

- prix ROADEF du mémoire de master RO/AD 2020, co-encadré par les équipes Décision et RO

Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

L'équipe a la capacité d'attirer de très bons étudiants pour des stages ou des thèses. Ils viennent très majoritairement de Sorbonne Université, en particulier de la spécialité ANDROIDE du master d'informatique dans lequel nous intervenons via plusieurs Unités d'Enseignement préparant à la recherche, mais parfois aussi de l'extérieur (grandes écoles, e.g., Centrale, ENSTA). La qualité de ces étudiants nous permet de décrocher régulièrement des bourses de doctorat de l'EDITE mais aussi plus récemment des bourses SCAI (Sorbonne Center of AI). En outre, l'équipe attire aussi des doctorants pour des thèses CIFRE, principalement sur les développements et les applications des modèles graphiques, mais aussi sur l'optimisation appliquée à la gestion de l'énergie. Sur la période 2017-2022 nous totalisons 11 thèses soutenues. Notre capacité de captation de doctorants est toutefois limitée par le nombre d'habilités qui a chuté à 2 (promotions, mobilité, retraite) combiné aux règles de répartition qui limitent le nombre de doctorats par HDR. De nouvelles habilitations sont en préparation.

Les doctorants et étudiants de master interagissent très régulièrement avec les chercheurs qui les encadrent. Ils ont l'occasion de faire des exposés (réunions d'équipe ou de projet, séminaires des GT de GDR) et des répétitions pour les auditions importantes. Ils sont étroitement accompagnés dans la rédaction d'articles. Ils sont aussi impliqués dans diverses écoles d'été en décision/IA/RO (e.g., écoles des GDR IA et RO, écoles CNRS, écoles projets ANR). Parmi les conséquences positives visibles de cet accompagnement, on peut noter un nombre significatif de publications impliquant des doctorants (souvent en premier auteur) dans des conférences très sélectives comme IJCAI, AAAI, AAMAS, UAI, ECAI ou des conférences spécialisées comme ADT ou DA2PL, ainsi que plusieurs prix pour des articles et mémoires de master et un prix de thèse (voir section précédente). Les doctorants sont aussi préparés à la recherche académique et appliquée, sont suivis dans leurs candidatures, plusieurs d'entre eux poursuivent en post-doctorat et ont obtenu des postes de MC (Hugo Gilbert à Dauphine, Nadjat Bourdache à Caen, Nawal Benabbou à SU) et les autres s'intègrent facilement dans l'industrie comme ingénieur en IA/RO. Nous avons aussi accueilli des chercheurs étrangers et préparé des publications jointes (voir fin de section 1.2).

Concernant les permanents, l'équipe désormais réduite à 6 permanents (plus 2 émérites) est relativement homogène et les interactions et coopérations internes sont fréquentes et naturelles, non-seulement autour des axes modélisation, apprentissage et optimisation mais aussi de façon transverse entre les aspects IA et RO comme entre les aspects préférences et optimisation. Nous nous efforçons aussi d'impliquer des MC non HDR dans le co-encadrement de doctorants, dans la limite des quotas maximums imposés concernant le nombre de doctorants par HDR. Un autre attrait de l'équipe est lié à sa proximité à la fois thématique et géographique (au sein du LIP6) avec les équipes RO et SMA, ce qui facilite les interactions régulières et les rencontres et synergies tant au niveau des permanents que des doctorants. En conséquence de ces interactions, on trouve de multiples publications impliquant entre 2 et 5 auteurs de l'équipe décision et d'autres publications jointes avec les équipes RO et SMA. Nous collaborons aussi avec d'autres équipes du laboratoire, par exemple l'équipe PHARE [Fossati et al., 2020] et l'équipe PEQUAN [Hilaire et al., 2019].

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

L'équipe s'implique régulièrement dans le montage et le déroulé de projets académiques collaboratifs dans le cadre des appels d'offres internationaux et nationaux. On peut citer en particulier, depuis 2017 :

- le projet H2020 SCISSOR avec une responsabilité de WP,
- les projets ANR CoCoRiCo (Choix Social Computationnel), SunStone (Contrôle intelligent des réseaux de chaleur), Themis (Mesure d'influence et préférences dans les groupes) avec des responsabilités de WP,
- le projet CNRS International Emerging Action INDICOD : INTERactive Decision-making for COMplex Domain,
- le projet PGMO (Gaspard Monge) "Interactive Methods and Preference Elicitation for Solving Hard Multiobjective Combinatorial Optimization Problems",
- les projets RFSI (Réseau Francilien en Sciences Informatiques) APERO 1 et APERO 2 : Preference Elicitation for Solving Multicriteria Optimization Problems,
- trois projets financés par la NSF Chine, "Exploiting equivariances in deep reinforcement learning : theory, algorithms and applications", "Uncertainty analysis and travel behavior prediction for citywide massive-scale human mobility" et "Graph federated learning with fair aggregation for spatio-temporal data mining".

Nous sommes aussi impliqués dans le récent projet ALGOJUST qui traite de l'aide à la décision dans le contexte juridique, suite à l'appel MITI-CNRS sur les missions pour initiatives transverses.

Domaine 3. Production scientifique

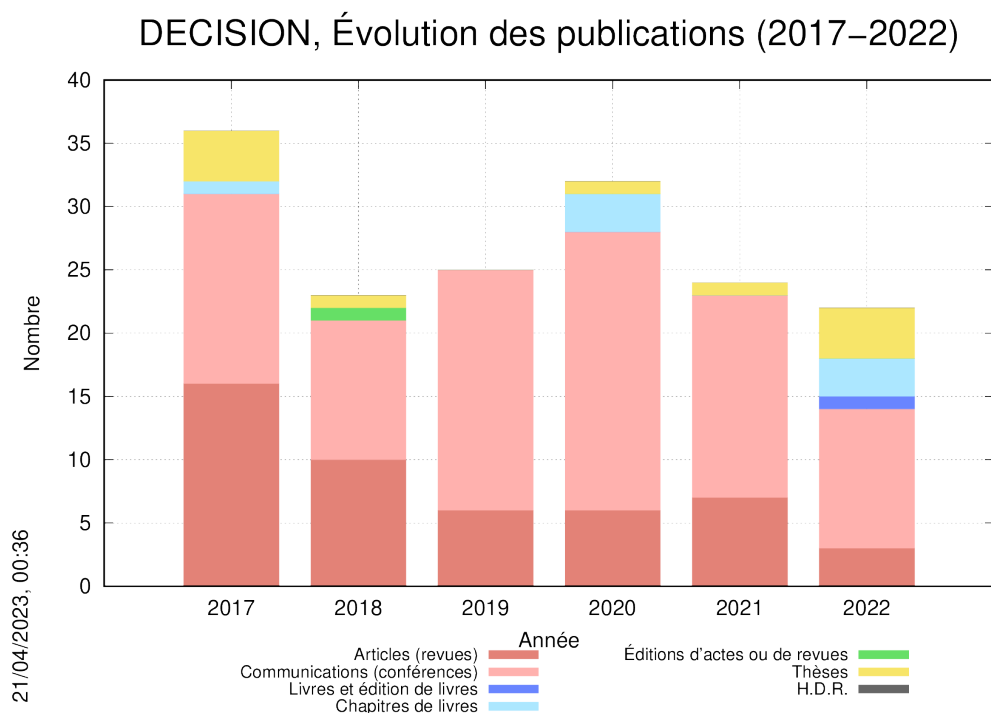


FIGURE 1 – Évolution des publications entre 2017 et 2022

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Articles (revues)	3.55	2.00	1.20	1.50	1.75	1.00
Communications (conférences)	3.33	2.20	3.80	5.50	4.00	3.66

TABLE 2 – Publications par ETPR par an entre 2017 et 2022

Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

L'équipe fonde ses travaux de modélisation des préférences sur son expertise en théorie de la décision (propriétés mathématiques et fondement axiomatiques des modèles avancés de décision), et utilise les outils de la programmation mathématique et de l'optimisation combinatoire pour l'algorithmique de la décision et de l'apprentissage. Nous visons à fournir des garanties sur la qualité de nos méthodes de résolution et des solutions qu'elles fournissent, soit en proposant des méthodes de résolution exactes, soit en fournissant des approximations avec garantie de performances, ou à défaut en testant la qualité des heuristiques sur des données.

Le positionnement de l'équipe, au carrefour de l'IA, de la théorie de la décision et de la RO, fait son originalité et sa force. Comme le montre les éléments du portfolio et plus généralement nos publications, nous publions en IA et en RO, en intégrant souvent des savoirs de ces différentes communautés (en combinant par exemple apprentissage et optimisation, modèles décisionnels et optimisation, modèles des préférences et apprentissage).

Nous privilégions des soumissions dans des supports sélectifs, qu'il s'agisse de conférences majeures en IA (5 IJCAI, 5 AAAI, 4 AAMAS, 2 UAI, 2 ECAI depuis 2017) ou de revues internationales en IA/Algorithmique/RO. Concernant la production logicielle, le succès significatif de la bibliothèque Agrum/pyAgrum développée par l'équipe (64 citations depuis 2017, 15000 téléchargements mensuels, voir le portfolio) est également un indicateur de qualité et d'utilité de notre production. Notons que l'équipe a été impliquée dans trois chapitres de la synthèse récente sur l'intelligence artificielle "Knowledge Representation, Reasoning, and Learning" [4]. Signalons aussi que nous collaborons avec des équipes étrangères du meilleur niveau (USA, Canada, Royaume-Uni, Japon, Brésil), voir [Benabbou et al., 2019a], [Viappiani and Boutilier, 2020], [Benabbou et al., 2021a], [Toffano et al., 2021], [Ouzia and Maculan, 2021] par exemple.

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

La production de l'équipe s'étale de façon assez homogène entre les membres de l'équipe avec une intégration importante des doctorants dans les publications, comme déjà expliqué. Nous envoyons souvent un seul auteur par article accepté aux conférences internationales (réduction des dépenses et de l'empreinte carbone) ; les doctorants et leurs co-auteurs permanents participent de manière équilibrée aux différentes conférences où ils sont acceptés. Les doctorants ont donc l'occasion de présenter leur travaux dans des conférences internationales sélectives. Les doctorants participent également à des écoles thématiques. Concernant l'aspect quantitatif de notre production, signalons que nous sommes passés de 9 permanents à 6 permanents entre 2018 et 2022 ce qui a fini par impacter, de manière proportionnée, le volume global de production de l'équipe.

Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

Les publications de l'équipe sont diffusées sur HAL en version texte intégral dans un format non final. Plusieurs conférences d'IA importantes (par exemple IJCAI) mettent en place des politiques visant à assurer le partage et la reproductibilité des résultats de tests numériques et incitent les auteurs à s'engager à fournir des accès aux codes en cas d'acceptation. Nous nous efforçons de répondre positivement à cette demande. Rappelons également que la librairie Agrum/pyAgrum que nous développons est open-source. Par ailleurs, les conférences et revues dites prédatrices ne font pas partie des supports utilisés par l'équipe et les doctorants sont dissuadés d'y participer. Nous cherchons le meilleur support relativement à la qualité du résultat produit.

Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Nous avons des interactions avec le monde non-académique dans des domaines variés tels que la santé, les transports, les communications, la gestion de l'énergie, la sécurité. Mentionnons en particulier les travaux menés auprès des partenaires suivants :

- ▶ Hôpitaux de Paris : il s'agit d'un travail de prédiction des événements de santé défavorables pour des personnes âgées (chutes, escarres, etc.) dans le cadre d'une thèse CIFRE avec l'entreprise TERANGA,
- ▶ Airbus : travail sur les modèles graphiques probabilistes dans le continu non paramétré, basés sur le modèle des copules. Cette recherche se structure autour d'un contrat-cadre avec Airbus et d'un partenariat avec la librairie OpenTurns (dont Airbus est un partenaire),
- ▶ IBM : à travers deux thèses CIFRE, travail sur l'articulation entre le modèle métier dit Business Rules adoptés par IBM et les modèles graphiques : introduction de l'incertitude dans les moteurs à base de règles,
- ▶ Orange : en partenariat avec Dauphine et Orange, algorithmes de *Monte-Carlo search* pour l'optimisation de la congestion sur des réseaux de grande taille,
- ▶ SAP : apport de la causalité dans les modèles graphiques pour l'explicabilité des modèles prédictifs : vers des modèles prescriptifs, dans le cadre d'une thèse CIFRE,
- ▶ Energisme : modèles d'optimisation pour la gestion de consommation d'énergie multi-flux, dans le cadre d'une thèse CIFRE,
- ▶ Akheros : thèse CIFRE sur la recherche des anomalies dans des signaux temporels complexes, basée sur l'apprentissage de réseaux bayésiens dynamiques non homogènes,
- ▶ IRSN : évaluation du risque.

Les études menées avec ces partenaires reposent majoritairement sur l'utilisation de la bibliothèque pyagrum développée par l'équipe ou bien sur des modèles d'optimisation que nous avons développés. Par ailleurs, nos travaux sur l'optimisation multicritère ou collective ont un potentiel d'application significatif dans le domaine de la santé, de l'environnement ou de l'énergie (recherche de compromis entre les coûts et l'impact en terme de santé, d'environnement, ou de consommation d'énergie). Notons enfin que les contrats CIFRE de l'équipe financent une moitié de nos doctorants environ, l'autre moitié étant financée sur des bourses doctorales de l'EDITE et des bourses SCAI.

Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

La bibliothèque aGrUM/pyAgrum, forte de sa reconnaissance auprès de nombreux utilisateurs, a certainement un impact dans des domaines au moins scientifique, économique et social. Pour autant, le mode de distribution opensource a l'effet paradoxal de faciliter grandement le transfert et la valorisation de ce domaine scientifique, tout en compliquant l'analyse des utilisations. Nous devons donc principalement nous en tenir aux utilisations révélées (des utilisateurs nous contactent dans le domaine de la médecine, la bioinformatique, de l'assurance, de la finance, de l'industrie, de la robotique, etc.), aux utilisations académiques (voir élément 2 du portfolio) et à la composition professionnelle du groupe linkedin (105 personnes : Ingénierie, Enseignement, Recherche, Technologie de l'information, Finance, Développement commercial, Administration, Service à la communauté et services sociaux, entrepreneuriat, services de santé) et sa composition sectorielle (Service de recherche, Développement logiciels, Enseignement supérieur, Services et conseils informatiques, Gestion des investissements, Administration de l'éducation, Services et conseils aux entreprises, Production et distribution de médias de diffusions, Services financiers, Services d'utilité publique). Indépendamment de cette bibliothèque, les modèles d'aide multicritère à la décision développés dans l'équipe trouvent des applications dans différents secteurs nécessitant des procédures d'évaluation et de décision (e.g., évaluation du bien-être animal, recommandation pour le commerce électronique, optimisation des réseaux radio-mobile). Nous étudions actuellement l'apport des modèles de décision multicritère dans les procédures de justice (ANR algojust). Enfin, comme nous l'avons déjà mentionné, nos travaux en optimisation ont des applications dans le domaine de la gestion de l'énergie.

Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Nous participons à des manifestations de vulgarisation scientifique auprès de divers publics ; citons en particulier les actions suivantes :

- ▶ Plusieurs membres de l'équipe se sont impliqués dans des animations à destination de jeunes élèves (scolaires, collèges, lycée) lors des *Fête de la Science*, en particulier par l'animation d'un stand "Récréations algorithmiques" ; l'idée étant bien sûr, après que les visiteurs aient manipulé un peu le matériel proposé, de commenter les difficultés rencontrées et les solutions qui peuvent être mises en œuvre, avec une vision d'algorithmicien. Nous avons également participé à l'animation du stand "Jeux combinatoires et algorithmes" au salon *Culture et Jeux Mathématiques*.
- ▶ Nous avons également écrit deux articles de vulgarisation scientifique, l'un dans un numéro spécial de la revue *Tangente* hors série N°75 dédié à la recherche opérationnelle (article sur l'optimisation équitable, <https://publimath.univ-irem.fr/biblio/AAT20335.htm>) et l'autre dans la revue *Interstices* sur les réseaux bayésiens (<https://interstices.info/les-reseaux-bayesiens/>).
- ▶ Dans le cycle de conférences grand public "Il était une fois demain" organisé par Sorbonne Université, l'équipe a été sollicitée pour intervenir sur le thème "La prise de décision : mode d'emploi", le 19 juin 2019. Par ailleurs un membre de l'équipe a aussi été interviewé dans le cadre d'un article intitulé "A l'école de l'innovation", Le Monde, jeudi 26 janvier 2017.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES EXTERNES

- [1] Darius Braziunas and Craig Boutilier. Preference elicitation and generalized additive utility. In *AAAI*, pages 1573–1576. Boston, MA, 2006.
- [2] Peter C Fishburn. Nontransitive measurable utility. *Journal of Mathematical Psychology*, 26(1) :31–67, 1982.
- [3] Peter C Fishburn and Irving H LaValle. Binary interactions and subset choice. *European journal of operational research*, 92(1) :182–192, 1996.
- [4] Pierre Marquis, Odile Papini, and Henri Prade. *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research : Volume I : Knowledge Representation, Reasoning and Learning*. Springer Nature, 2020.

5 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE DECISION

- [Benabbou et al., 2019a] Benabbou, N., Chakraborty, M., Elkind, E., and Zick, Y. (2019a). Fairness towards groups of agents in the allocation of indivisible items. In *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2019*, pages 95–101.
- [Benabbou et al., 2021a] Benabbou, N., Chakraborty, M., Igarashi, A., and Zick, Y. (2021a). Finding fair and efficient allocations for matroid rank valuations. *ACM Transactions on Economics and Computation*, 9(4) :1–41.
- [Benabbou et al., 2020d] Benabbou, N., Leroy, C., and Lust, T. (2020d). An Interactive Regret-Based Genetic Algorithm for Solving Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems. In *The Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-20)*, New York, United States.
- [Benabbou et al., 2021b] Benabbou, N., Leroy, C., Lust, T., and Perny, P. (2021b). Combining Preference Elicitation with Local Search and Greedy Search for Matroid Optimization. In *35th AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI'21)*, Virtual, France.
- [Benabbou et al., 2021e] Benabbou, N., Martin, H., and Perny, P. (2021e). Min Cost Improvement and Max Gain Stability in Multicriteria Sorting Methods on Combinatorial Domains. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*.
- [Benabbou and Perny, 2017] Benabbou, N. and Perny, P. (2017). Adaptive Elicitation of Preferences under Uncertainty in Sequential Decision Making Problems. In *The 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'17).
- [Benabbou and Perny, 2018] Benabbou, N. and Perny, P. (2018). Interactive resolution of multiobjective combinatorial optimization problems by incremental elicitation of criteria weights. *EURO journal on decision processes*.
- [Benabbou et al., 2017] Benabbou, N., Perny, P., and Viappiani, P. (2017). Incremental elicitation of choquet capacities for multicriteria choice, ranking and sorting problems. *Artificial Intelligence*, 246 :152–180.
- [Bertani et al., 2019] Bertani, N., Boukhatem, A., Diecidue, E., Perny, P., and Viappiani, P. (2019). Fast and simple adaptive elicitations : Experimental test for probability weighting. *Available at SSRN*.
- [Bourdache and Perny, 2019a] Bourdache, N. and Perny, P. (2019a). Active Preference Learning based on Generalized Gini Functions : Application to the Multiagent Knapsack Problem. In *Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2019)*, Honolulu, United States.
- [Bourdache et al., 2019b] Bourdache, N., Perny, P., and Spanjaard, O. (2019b). Incremental Elicitation of Rank-Dependent Aggregation Functions based on Bayesian Linear Regression. In *IJCAI-19 - Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 2023–2029.
- [Brézillon and Turner, 2022c] Brézillon, P. and Turner, R. M. (2022c). *Modeling and Use of Context in Action*. John Wiley & Sons.
- [Butz et al., 2018] Butz, C. J., dos Santos, A. E., Oliveira, J. S., and Gonzales, C. (2018). On a simple method for testing independencies in bayesian networks. *Computational Intelligence*, 34(3) :789–801.
- [Charon et al., 2022a] Charon, C., Willemin, P.-H., and Belmin, J. (2022a). Learning Bayesian Networks for the Prediction of Unfavorable Health Events in Nursing Homes. In *Challenges of Trustable AI and Added-Value on Health*, volume 294 of *Studies in Health Technology and Informatics*, pages 147 – 148. IOS Press.
- [Cortijo and Gonzales, 2017] Cortijo, S. and Gonzales, C. (2017). On conditional truncated densities Bayesian networks. *International Journal of Approximate Reasoning*.
- [Costa et al., 2018] Costa, L., Lust, T., Kramer, R., and Subramanian, A. (2018). A two-phase Pareto local search heuristic for the bi-objective pollution-routing problem. *Networks*, 72(3) :311–336.
- [Ducamp et al., 2020b] Ducamp, G., Bonnard, P., Nouy, A., and Willemin, P.-H. (2020b). An Efficient Low-Rank Tensors Representation for Algorithms in Complex Probabilistic Graphical Models. In *10th International Conference on Probabilistic Graphical Models*, volume 138 of *Proceedings of Machine Learning Research*, pages 173–184, Skørping, Denmark.
- [Ducamp et al., 2020c] Ducamp, G., Bonnard, P., and Willemin, P.-H. (2020c). Uncertain Reasoning in Rule-Based Systems Using PRM. In *FLAIRS 33 - 33rd Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, pages 617–620, Miami, United States. AAAI.
- [Durand et al., 2022] Durand, M., Pascual, F., and Spanjaard, O. (2022). A Non-utilitarian Discrete Choice Model for Preference Aggregation. In *Proceedings of the 15th Scalable Uncertainty Management conference (SUM 2022)*, volume 13562 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 157–171, Paris, France. Springer International Publishing.

- [Escoffier et al., 2020] Escoffier, B., Spanjaard, O., and Tydrichová, M. (2020). Recognizing Single-Peaked Preferences on an Arbitrary Graph : Complexity and Algorithms. In *13th International Symposium on Algorithmic Game Theory, SAGT 2020*, volume 12283 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 291–306, Augsburg, Germany. Springer.
- [Fossati et al., 2020] Fossati, F., Moretti, S., Perny, P., and Secci, S. (2020). Multi-Resource Allocation for Network Slicing. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 28(3) :1311–1324.
- [Gilbert et al., 2017] Gilbert, H., Benabbou, N., Perny, P., Spanjaard, O., and Viappiani, P. (2017). Incremental Decision Making Under Risk with the Weighted Expected Utility Model. In *26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'17)*.
- [Gilbert et al., 2022a] Gilbert, H., Ouaguenouni, M., Ozturk, M., and Spanjaard, O. (2022a). Cautious Learning of Multiattribute Preferences. In *13th Multidisciplinary Workshop on Advances in Preference Handling*, Vienna, Austria.
- [Gilbert et al., 2020] Gilbert, H., Portoleau, T., and Spanjaard, O. (2020). Beyond Pairwise Comparisons in Social Choice : A Setwise Kemeny Aggregation Problem. In *Thirty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-20)*, volume 34 of *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pages 1982–1989, New York, United States.
- [Gilbert et al., 2022c] Gilbert, H., Portoleau, T., and Spanjaard, O. (2022c). Beyond pairwise comparisons in social choice : A setwise Kemeny aggregation problem. *Theoretical Computer Science*, 904 :27–47.
- [Gilbert and Spanjaard, 2017c] Gilbert, H. and Spanjaard, O. (2017c). Complexity of Solving Decision Trees with Skew-Symmetric Bilinear Utility. In *Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-2017)*, Sydney, Australia.
- [Gilbert and Spanjaard, 2019b] Gilbert, H. and Spanjaard, O. (2019b). Optimizing a Generalized Gini Index in Stable Marriage Problems : NP-Hardness, Approximation and a Polynomial Time Special Case. *Algorithmica*.
- [Gross-Humbert et al., 2023] Gross-Humbert, N., Benabbou, N., Beynier, A., and Maudet, N. (2023). Sequential and Swap Mechanisms for Public Housing Allocation with Quotas and Neighbourhood-based Utilities. *ACM Transactions on Economics and Computation*.
- [Herin et al., 2022c] Herin, M., Perny, P., and Sokolovska, N. (2022c). Learning Sparse Representations of Preferences within Choquet Expected Utility Theory. In *Uncertainty in Artificial Intelligence*, volume 180 of *Proceedings of Machine Learning Research*, pages 800–810, Eindhoven, Netherlands. PMLR.
- [Hilaire et al., 2019] Hilaire, T., Ouzia, H., and Lopez, B. (2019). Optimal Word-Length Allocation for the Fixed-Point Implementation of Linear Filters and Controllers. In *ARITH 2019 - IEEE 26th Symposium on Computer Arithmetic*, pages 175–182, Kyoto, Japan. IEEE.
- [Hourbracq et al., 2017] Hourbracq, M., Willemin, P.-H., Gonzales, C., and Baumard, P. (2017). Learning and selection of dynamic Bayesian Networks for non-stationary processes in real time. In *30th International Florida AI Research Society Conference, FLAIRS-30*, Marco Island, United States.
- [Jaskiewicz and Lust, 2017] Jaskiewicz, A. and Lust, T. (2017). Proper balance between search towards and along Pareto front : biobjective TSP case study. *Annals of Operations Research*, 254(1-2) :111–130.
- [Jaskiewicz and Lust, 2018a] Jaskiewicz, A. and Lust, T. (2018a). Nd-tree-based update : A fast algorithm for the dynamic nondominance problem. *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 22(5) :778–791.
- [Lasserre et al., 2021b] Lasserre, M., Lebrun, R., and Willemin, P.-H. (2021b). Constraint-based learning for non-parametric continuous bayesian networks. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 89 :1035–1052.
- [Lasserre et al., 2021c] Lasserre, M., Lebrun, R., and Willemin, P.-H. (2021c). Learning Continuous High-Dimensional Models using Mutual Information and Copula Bayesian Networks. In *The Thirty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, volume 35 of *AAAI-21 Technical Tracks 13*, pages 12139–12146, Vancouver, Canada. Association for the Advancement of Artificial Intelligence.
- [Lesca et al., 2018] Lesca, J., Minoux, M., and Perny, P. (2018). The Fair OWA One-to-one Assignment Problem : NP-hardness and Polynomial Time Special Cases. *Algorithmica*.
- [Magnan and Willemin, 2017] Magnan, J.-C. and Willemin, P.-H. (2017). Efficient Incremental Planning and Learning with Multi-Valued Decision Diagrams. *Journal of Applied Logic*, 22 :63–90.
- [Martin and Perny, 2019a] Martin, H. and Perny, P. (2019a). BiOWA for Preference Aggregation with Bipolar Scales : Application to Fair Optimization in Combinatorial Domains. In *The 28th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'19)*, pages 1822–1828, Macao, China. International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization.

- [Martin and Perny, 2019b] Martin, H. and Perny, P. (2019b). Computational Models for Cumulative Prospect Theory : Application to the Knapsack Problem Under Risk. In *SUM 2019 - 13th international conference on Scalable Uncertainty Management*, volume 11940 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 52–65, Compiègne, France. Springer.
- [Martin and Perny, 2020] Martin, H. and Perny, P. (2020). New Computational Models for the Choquet Integral. In *24th European Conference on Artificial Intelligence - ECAI 2020*, Santiago, Spain.
- [Minoux, 2017b] Minoux, M. (2017b). Robust and stochastic multistage optimisation under Markovian uncertainty with applications to production/inventory problems. *International Journal of Production Research*, 56(1-2) :565–583.
- [Minoux et al., 2023] Minoux, M., Croteau, D., and Zorgati, R. (2023). Voltage regulation in a lv distribution network with renewables and electric véhicules - an optimization formulation. In *CIRE23 conference*.
- [Minoux et al., 2022] Minoux, M., Laugere, A., Croteau, D., and Zorgati, R. (2022). An efficient two-step load flow computation for LV distribution networks with high rates of renewables and EV. In *CIRE23 Porto Workshop 2022 : E-mobility and power distribution systems*, pages 186–190, Hybrid Conference, Porto, Portugal. Institution of Engineering and Technology.
- [Munch et al., 2022a] Munch, M., Buche, P., Dervaux, S., Dibie, J., Ibanescu, L. L., Manfredotti, C., Wuillemin, P.-H., and Angellier-Coussy, H. (2022a). Combining ontology and probabilistic models for the design of bio-based product transformation processes. *Expert Systems with Applications*, 203 :117406.
- [Munch et al., 2021] Munch, M., Buche, P., Manfredotti, C., Wuillemin, P.-H., and Angellier-Coussy, H. (2021). A process reverse engineering approach using Process and Observation Ontology and Probabilistic Relational Models : application to processing of bio-composites for food packaging. In Garoufallou, E., Ovalle-Perandones, M.-A., and Vlachidis, A., editors, *MTSR 2021 - 15th International Conference on Metadata and Semantics Research*, volume 1537 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 3–15, Madrid, Spain. Springer.
- [Nguyen and Minoux, 2020] Nguyen, V. H. and Minoux, M. (2020). Linear size MIP formulation of Max-Cut : new properties, links with cycle inequalities and computational results. *Optimization Letters*.
- [Ouzia and Maculan, 2021] Ouzia, H. and Maculan, N. (2021). Mixed Integer Nonlinear Optimization Models for the Euclidean Steiner Tree Problem in Rd. *Journal of Global Optimization*.
- [Ouzia et al., 2023] Ouzia, H., Vicente Pinto, R., and Maculan, N. (2023). A New Second-Order Conic Optimization Model for the Euclidean Steiner Tree Problem in Rd. *International Transactions in Operational Research*.
- [Tahir and Brézillon, 2022] Tahir, H. and Brézillon, P. (2022). Context-based personal data discovery for anonymization. In Brézillon, P. and Turner, R., editors, *Modeling and Use of Context in Action*, Information Systems, Web and Pervasive Computing Series, pages 221–244. ISTE and Wiley.
- [Toffano et al., 2021] Toffano, F., Viappiani, P., and Wilson, N. . (2021). Efficient Exact Computation of Setwise Minimax Regret for Interactive Preference Elicitation. In *20th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2021)*, Online, United Kingdom.
- [Viappiani and Boutilier, 2020] Viappiani, P. and Boutilier, C. (2020). On the equivalence of optimal recommendation sets and myopically optimal query sets. *Artificial Intelligence*, 286 :103328.
- [Vo et al., 2022] Vo, T. Q. T., Baiou, M., Nguyen, V. H., and Weng, P. (2022). A comparative study of linearization methods for ordered weighted average. In *2022 12th International Workshop on Resilient Networks Design and Modeling (RNDM)*, pages 1–7. IEEE.
- [Wu et al., 2021a] Wu, D., Nguyen, V. H., Minoux, M., and Tran, H. (2021a). An integer programming model for minimizing energy cost in water distribution system using trigger levels with additional time slots. In *2021 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF)*, pages 1–6, Hanoi, Vietnam. IEEE.
- [Wu et al., 2021b] Wu, D., Nguyen, V. H., Minoux, M., and Tran, H. (2021b). Optimal deterministic and robust selection of electricity contracts. *Journal of Global Optimization*.

A ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022

La table ci dessous liste les membres permanents de l'équipe DECISION.

NOM	Prénom	Corps	Employeur
BENABBOU	Nawal	MCF	Sorbonne Université
LUST	Thibaut	MCF	Sorbonne Université
OUZIA	Hacène	MCF	Sorbonne Université
PERNY	Patrice	PR	Sorbonne Université
SPANJAARD	Olivier	MCF (HDR)	Sorbonne Université
WUILLEMIN	Pierre-Henri	MCF	Sorbonne Université

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 01



Distinction

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Prix de thèse en intelligence artificielle 2018, décerné à Nawal Benabbou par l'Association française pour l'intelligence artificielle (AFIA), pour sa thèse intitulée "Procédures de décision par élicitation incrémentale de préférences en optimisation multicritère, multi-agents et dans l'incertain" (directeur de thèse : Patrice Perny).

URL : <https://afia.asso.fr/les-prix-de-these-en-intelligence-artificielle/>

Fichier : decision1.pdf (PDF de la thèse).

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Il s'agit d'une thèse sur l'élicitation incrémentale des préférences, sujet qui s'inscrit dans le domaine de l'intelligence artificielle et de la théorie de la décision algorithmique. Alors que l'équipe s'occupait principalement de la modélisation des préférences et de l'optimisation pour l'aide à la décision, cette thèse a été le point de départ d'une suite de travaux fructueux sur l'élicitation de préférences et l'apprentissage de modèles de décision. Cette thèse a obtenu le prix de l'AFIA en 2018 et nos travaux sur ce thème ont donné lieu à de nombreuses publications dans l'équipe, impliquant plusieurs permanents et doctorants.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

La thèse porte sur le développement de nouvelles méthodes pour la résolution de problèmes d'optimisation multi-objectifs (multicritère, multi-agents, incertain) sur des ensembles de solutions définis explicitement ou implicitement (domaine combinatoire) et dans lesquels les solutions optimales sont caractérisées par un modèle paramétré issu de la théorie de la décision et dont le paramétrage (élicitation) doit permettre de rendre compte des préférences subjectives d'un ou plusieurs agents [1].

Éliciter le modèle décisionnel est une opération coûteuse en soit car elle nécessite de poser un grand nombre de questions au décideur pour être précise. Dans l'optique de limiter le nombre de questions, des procédures d'élicitation partielle (dite "incrémentale") ont été proposées avec succès : il s'agit de poser des questions au décideur, soigneusement choisies les unes après les autres, pour réduire efficacement l'imprécision sur les paramètres du modèle, de manière à identifier rapidement la solution optimale, sans avoir besoin de spécifier complètement le modèle (voir par exemple [7, 8]). Avant la thèse de Nawal Benabbou, cette approche avait été envisagée uniquement dans le cadre de modèles décisionnels très simples et essentiellement sur domaine non-combinatoire. La thèse a ensuite permis de généraliser cette approche à des modèles décisionnels plus complexes, comme l'intégrale de Choquet, et/ou à des domaines combinatoires, et dans tous les secteurs de la théorie de la décision, en particulier pour l'optimisation combinatoire multicritère, la décision collective, ou encore la décision séquentielle dans l'incertain.

Pour aborder les problèmes sur domaine combinatoire, une nouvelle approche a été proposée, combinant l'élicitation incrémentale et l'exploration implicite des solutions du problème. L'idée est de réduire l'imprécision sur les paramètres du modèle décisionnel en cours de résolution, dans le but de centrer rapidement la recherche sur les solutions préférées, tout en limitant le nombre de questions posées au décideur en ne collectant que des informations servant à discriminer des groupes de solutions en compétition lors de l'exploration. Dans ce nouveau schéma de résolution interactive, le fait de poser des questions au décideur sur ses préférences à des moments clés de la résolution permet de focaliser l'effort d'élicitation sur les informations vraiment utiles, et donc de réduire considérablement le nombre de questions nécessaires pour la prise de décision. Dans cette thèse sont proposés des algorithmes exacts dont la terminaison et la correction sont établies formellement, ainsi que des versions approchées plus rapides avec garantie de performance, et des bornes polynomiales sur le nombre de questions générées sont fournies pour plusieurs algorithmes. Par ailleurs, tous les algorithmes proposés sont

systématiquement testés sur des instances de différentes tailles, et les résultats numériques obtenus montrent, à chaque fois, la grande efficacité de l'approche incrémentale, même sur domaine combinatoire. Les résultats obtenus dans cette thèse ont été confirmés par un nombre important de publications, mentionnons en particulier un article dans *Artificial Intelligence Journal* en 2017 [2], qui a d'ores et déjà une soixantaine de citations à son actif.

Par ailleurs, cette thèse a été le point de départ de plusieurs autres thèses dans l'équipe, citons par exemple les travaux de Cassandre Leroy qui ont permis d'étendre l'approche à des méta-heuristiques [5], ceux de Nadjat Bourdache qui se sont intéressées à des approches tolérantes aux erreurs de réponse via une approche Bayésienne [3], ou encore ceux d'Hugo Martin traitant de modèles décisionnels exploitant des échelles bi-polaires [6]. D'autres thèses sont en cours, portant sur des sujets proches de la problématique d'élicitation des préférences, comme celle de Margot Herin sur l'apprentissage de modèles parcimonieux et celle de Mohamed Ouaguenouni considérant le cas de préférences ordinales sur des ensembles. De manière générale, l'élicitation des préférences est devenu un large terrain de collaborations au sein de l'équipe, citons par exemple un article publié dans les actes de la conférence internationale IJCAI [4], impliquant cinq membres de l'équipe.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Nawal Benabbou. *Procédures de décision par élicitation incrémentale de préférences en optimisation multi-critère, multi-agents et dans l'incertain*. Theses, Université Pierre et Marie Curie - LIP6, May 2017.
- [2] Nawal Benabbou, Patrice Perny, and Paolo Viappiani. Incremental elicitation of Choquet capacities for multi-criteria choice, ranking and sorting problems. *Artificial Intelligence*, 246 :152–180, 2017.
- [3] Nadjat Bourdache. *Élicitation incrémentale des préférences pour l'optimisation multi-objectifs : modèles non-linéaires, domaines combinatoires et approches tolérantes aux erreurs*. Theses, Sorbonne Université - LIP6, December 2020.
- [4] Hugo Gilbert, Nawal Benabbou, Patrice Perny, Olivier Spanjaard, and Paolo Viappiani. Incremental decision making under risk with the weighted expected utility model. In Carles Sierra, editor, *Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2017, Melbourne, Australia, August 19-25, 2017*, pages 4588–4594, 2017.
- [5] Cassandre Leroy. *Élicitation incrémentale combinée à la recherche heuristique pour l'optimisation combinatoire multi-objectifs*. Theses, Sorbonne Université - LIP6, December 2022.
- [6] Hugo Martin. *Optimisation multi-objectifs et élicitation de préférences fondées sur des modèles décisionnels dépendants du rang et des points de référence*. Theses, Sorbonne Université - LIP6, May 2022.
- [7] Tianhan Wang and Craig Boutilier. Incremental Utility Elicitation with the Minimax Regret Decision Criterion. In *Proceedings of IJCAI'03*, pages 309–316, 2003.
- [8] Chelsea C. White III, Andrew P. Sage, and Shigeru Dozono. A model of multiattribute decisionmaking and trade-off weight determination under uncertainty. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 14(2) :223–229, 1984.

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 02



Logiciel ou bibliothèque logicielle

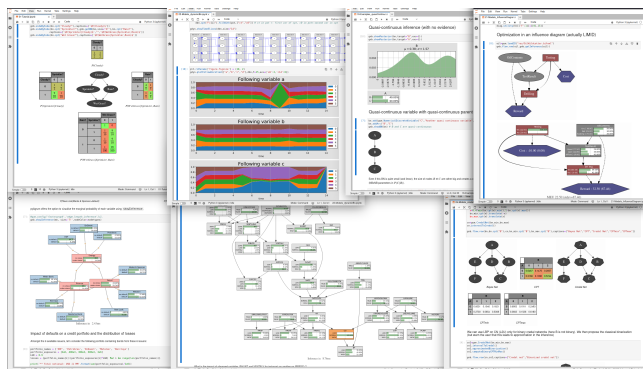
Titre de l'élément : aGrUM /pyAgrum

URL de l'élément : <https://www.agrum.org>

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

aGrUM/pyAgrum est une bibliothèque de modélisation, de calculs et d'apprentissage dans les modèles graphiques probabilistes. Les modèles graphiques permettent de manipuler des représentations probabilistes du comportement d'un système complexe en modélisant les interactions (probabilistes) entre les variables de description de ce système. Naturellement, l'approche probabiliste complexe (en grande dimension) implique un grand nombre de problèmes NP-difficiles. Toutefois, la factorisation de la loi

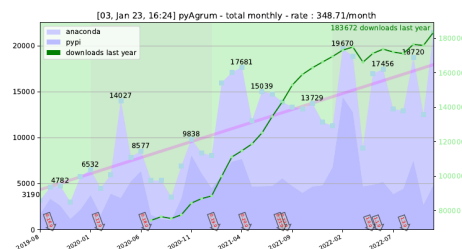
jointe que proposent les modèles graphiques rend cette approche utilisable dans beaucoup de cas pratiques (le pire des cas restant bien sûr exponentiel en mémoire et en temps). Toutes les tâches probabilistes, de la prédiction au diagnostic en passant par la simulation et le *monitoring* sont alors accessibles. Manipuler des modèles graphiques est aussi un atout dans une démarche de validation, d'explication voire de recherche causale. aGrUM/pyAgrum a pour but de mettre à disposition l'ensemble des outils nécessaires autant pour exploiter ces capacités que pour proposer de nouveaux algorithmes.



Une session de travail avec Jupyter et pyAgrum

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Développée au sein de l'équipe, cette bibliothèque *open-source* de calcul scientifique reçoit une reconnaissance aussi bien académique (plus de 60 citations depuis 2017, cf. ci-dessous) que publique en terme de téléchargements (15 000 téléchargements mensuels en moyenne sur l'année 2022, uniquement sur les 2 moyens de téléchargement les plus importants de *packages* python : *pypi* et *anaconda* ; cf. ci-contre).



Téléchargements mensuels depuis 2019

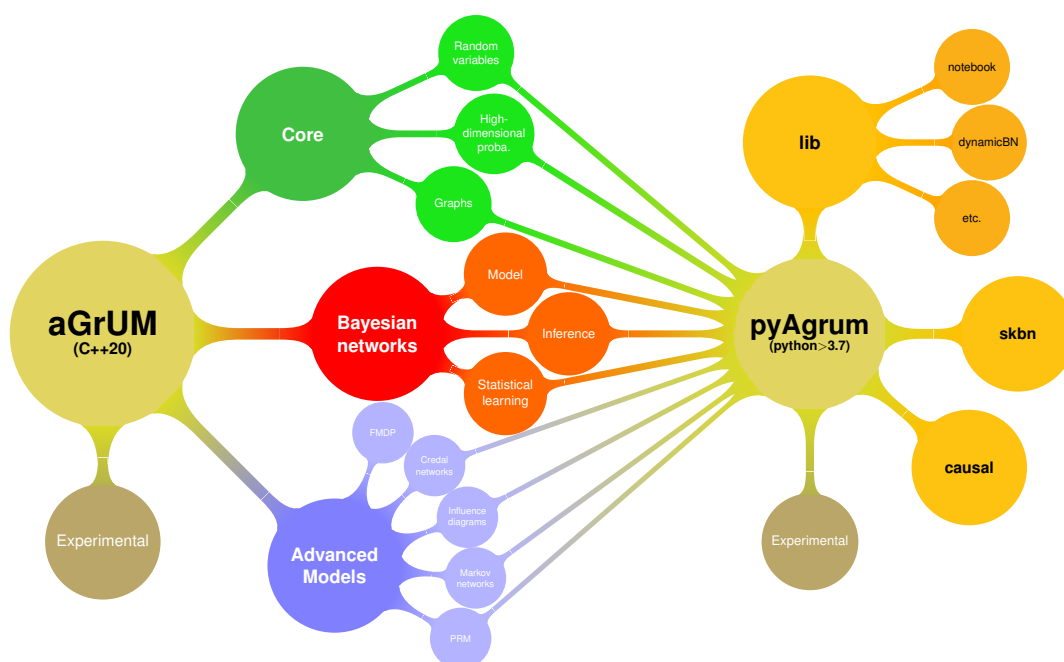
3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

La bibliothèque C++ aGrUM s'est structurée dans l'équipe autour de codes mis en commun pour des raisons pratiques de développement des algorithmes et des benchmarks utiles pour les sujets de recherche. De plus en plus complète et cohérente, s'étant dotée d'outils de contrôle de qualité (tests unitaires, outil de distribution et de gestion de versions des codes, documentation, etc.), cette bibliothèque est devenue assez mature pour sortir du laboratoire et gagner en visibilité en tant que bibliothèque open-source (LGPL). Toutefois, le choix du langage C++, même si pertinent en terme d'efficacité, handicapait le possible intérêt pour d'autres utilisateurs. Il a donc été décidé de fournir pyAgrum, un *wrapper* python permettant d'accéder aux implémentations rapides et efficaces d'aGrUM à partir d'un code python. Enfin, un effort important a été fourni, afin de rendre disponible pyAgrum sur les principaux systèmes de distribution de package, sur le site de documentation *readthedocs*, etc.

3.1 Périmètre

L'architecture d'aGrum est basée sur la mise à disposition de structures de données qui permettent de construire efficacement les éléments principaux des modèles graphiques probabilistes : variables aléatoires discrètes, potentiels (qui sont des tenseurs de rang quelconque, dont les dimensions sont explicitement désignées par des variables aléatoires) et graphes.

Principalement dédiée aux réseaux bayésiens, aGrUM implémente de nombreuses fonctionnalités pour l'inférence, l'apprentissage, etc. autour de ce modèle. Néanmoins, de proche en proche, les *modèles avancés* ont pris une importance croissante. Il est maintenant aussi facile de manipuler des *Markov Random Fields* (modèle graphique non orienté), des diagrammes d'influence (extension décisionnelle), des réseaux de croyances (des polytopes de réseaux bayésiens), des processus de décision markoviens factorisés (autre extension décisionnelle) et des modèles relationnels (des extension des réseaux bayésien à la logique du premier ordre).



Composantes d'aGrUM et pyAgrum

PyAgrum, *wrapper* Python, donne accès à la majorité de ces composantes sous la forme d'une API générée par SWIG. Des codes simplifiant et/ou 'pythonisant' (sic) les codes utilisateurs ont été produits dans `pyAgrum.lib`. Enfin, pyAgrum est désormais suffisamment mature pour permettre des développements propres comme `pyAgrum.skbn` qui donne la possibilité d'utiliser les réseaux bayésiens comme classifieurs dans l'écosystème de scikit-learn ou `pyAgrum.causal` qui implémente les modèles causaux et les calculs de probabilité par intervention de Pearl [?]. D'autres développements sont en cours comme une librairie de gestion des `ConditionalLinearGaussian`, des `ContinuousTime BayesianNetwork`, etc.

En permettant un accès simple non seulement aux objets de haut niveau mais également aux composants élémentaires, aGrUM/pyAgrum a pour ambition de pouvoir intéresser autant des chercheurs dans le domaine des modèles graphiques intéressés à développer de nouveaux algorithmes, que des utilisateurs des modèles graphiques intéressés par leur capacité à décrire, à prédire, à modéliser, à expliquer des systèmes complexes. aGrUM/pyAgrum sont bien entendu utilisés dans l'équipe pour tout travail de recherche sur ces domaines (d'où les bulles *Experimental* dans la figure).

3.2 Visibilité

Aujourd'hui, avec les statistiques d'utilisation déjà citées plus haut, il est indéniable qu'aGrUM/pyAgrum a atteint une reconnaissance académique et publique en tant que bibliothèque bien installée dans le domaine des outils open-source sur les modèles graphiques probabilistes. Sa présence sur internet se décline en un site propre, un repository gitlab (et un clone github), un groupe linkedin, un projet research-gate, une disponibilité sur pip et anaconda, une documentation sur readthedocs, des groupes d'utilisateurs discord, gitter, des projets communs avec d'autres librairies (otagrum avec openturns), etc.

4 RÉFÉRENCES

Une liste d'articles académiques citant aGrUM/pyAgrum est disponible à l'adresse suivante :
<https://www.lip6.fr/Pierre-Henri.Wuillemin/biblioAgrum>

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 03



Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : "Linear size MIP formulation of Max-Cut : new properties, links with cycle inequalities and computational results", Viet Nguyen et Michel Minoux, *Optimization Letters*, 2021.

URL de l'élément : <https://hal.uca.fr/hal-03018187>

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Le Problème de la Coupe Maximum (MaxCut Problem - PCM) est un des problèmes fondamentaux les plus étudiés en Optimisation Combinatoire. Il est un des 21 problèmes NP-difficiles de la liste établie par Richard Karp. Le PCM est connu pour son caractère interdisciplinaire notamment via son application pour le calcul de l'état minimum de la fonction d'énergie (la Hamiltonienne) dans un modèle d'Ising qui est aussi un problème fondamental en physique statistique. Depuis cinquante ans, beaucoup de travaux sont dédiés à la résolution exacte et approchée du PCM. Certains de ces travaux ont permis de nouvelles avancées méthodologiques en Optimisation Combinatoire comme l'utilisation de la programmation semi-définie (SDP) ou du calcul quantique. Du fait de cette riche littérature sur le PCM, il devient donc très difficile d'obtenir de nouvelles méthodes pour la résolution du PCM. Pour cette raison, nous souhaitons mettre en avant notre découverte structurelle sur une formulation étendue du PCM [1]. Ce nouveau résultat a notamment impliqué un nouveau paradigme de branchement permettant une amélioration substantielle dans la résolution exacte des instances creuses du PCM.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Une instance du PCM correspond à un graphe dont les arêtes sont pondérées. A une bipartition de l'ensemble des sommets en deux sous-ensembles, on fait correspondre une coupe qui est l'ensemble des arêtes ayant les extrémités réparties dans chacun des sous-ensembles de la bipartition. Le but du PCM est de trouver la coupe de poids maximum. Les instances creuses du PCM correspondent aux graphes dont le nombre des arêtes est proportionnel au nombre de sommets. En revanche, les instances denses sont celles qui correspondent aux graphes dont le nombre d'arêtes est proportionnel au nombre des sommets au carré.

Les travaux sur la résolution exacte du PCM reposent souvent sur des techniques de la programmation mathématique, notamment sur les formulations en Programme Linéaire en Nombres Entiers (PLNE) ou en Programme Binaire Quadratique (PBQ). La formulation PBQ possède une relaxation SDP de très bonne qualité utilisée par les solveurs SDP de PCM comme BiqMac ou BiqCrunch. Bien que ces derniers offrent les meilleures performances sur les instances denses du PCM mais en raison de la capacité de la programmation SDP, la taille de ces instances en nombre de sommets ne dépasse pas pour le moment 1000 sommets. L'approche d'algorithmes de Branch-and-Cut utilisant des formulations PLNE est mieux adaptée aux instances creuses de grande taille en nombre de sommets de PCM. Cette approche a permis notamment de résoudre des instances creuses ayant des dizaines de milliers de sommets. La formulation PLNE la plus utilisée pour PCM est celle donnée par Barahona et Mahjoub 1986 avec les variables associées aux arêtes et les inégalités des cycles. De façon classique, cette formulation PLNE est utilisée dans les algorithmes de Branch-and-Cut pour PCM avec le branchement sur les variables associées aux arêtes et la génération des inégalités de cycle.

En revanche, il existe des formulations étendues PLNE dans lesquelles les variables associées aux sommets sont ajoutées. Probablement en raison de la faiblesse de la relaxation linéaire, ces formulations sont négligées dans la littérature et ne sont pas utilisées dans les algorithmes de Branch-and-Cut pour PCM. Dans [1], nous avons montré que l'utilisation des formulations étendues PLNE dans un algorithme Branch-and-Cut pour PCM peut être très utile. En particulier, nous avons montré que sur les instances creuses brancher sur une variable associée à un sommet peut être équivalent à brancher sur un grand nombre de variables associées aux arêtes et à la génération

d'un nombre exponentiel d'inégalités de cycles. Cette stratégie de branchement peut donc améliorer grandement la performance des algorithmes de Branch-and-Cut pour PCM, notamment pour les instances creuses.

Récemment, in [2], Charfreitag et al. ont conçu le logiciel McSparse (<http://mcsparse.uni-bonn.de>) dédié à la résolution exacte des instances creuses de PCM où ils intègrent les paradigmes et les techniques les plus avancées développées dans la littérature sur les algorithmes de Branch-and-Cut pour PCM. Un des ingrédients clés de McSparse est l'utilisation de la stratégie de branchement sur les variables associées aux sommets avec la formulation étendue PLNE comme nous avons préconisé dans [1]. Voici un extrait de la section 3.3. de [2] où Charfreitag et al. décrit l'idée dans notre article [1].

For the 'branch and cut' phase, [Nguyen & Minoux, 2021] advocate to extend the MaxCut formulation from Section 2.1 by introducing binary node variables z_v for all $v \in V$ as well as for each edge $e = ij \in E$ the four inequalities $x_{ij} + z_i + z_j \leq 2$, $x_{ij} - z_i - z_j \leq 0$, $-x_{ij} + z_i - z_j \leq 0$, and $-x_{ij} - z_i + z_j \leq 0$. These link the values of the node and edge variables in the sense that in any integer solution the node sets $\{v \in V \mid z_v = 1\}$ and $\{v \in V \mid z_v = 0\}$ represent the two shores of the cut defined by the edge set $\{e \in E \mid x_e = 1\}$.

Voici un autre extrait de la section 5.3. de [2] où les auteurs constatent que le temps de CPU augmente significativement sans la stratégie de branchement sur les variables associées aux sommets préconisée dans notre article [1] :

We are not aware of other computational studies in the realm of polyhedral branch-and-cut that investigate the performance of an extended formulation along with the branching priorities on the corresponding node variables. In Table 5 we observe what happens if we omit the introduction of the extended formulation and branch on edge variables only, like done, e.g., in [3, 4, 42, 43, 24]. This concerns only the instances that need a b&c-phase in Table 2. We observe a significant total computation time increase.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Nguyen, V. & Minoux, M. Linear size MIP formulation of Max-Cut : new properties, links with cycle inequalities and computational results. *Optimization Letters*. **15**, 1041-1060 (2021), <https://doi.org/10.1007/s11590-020-01667-z>
- [2] Charfreitag, J., Jünger, M., Mallach, S. & Mutzel, P. McSparse : Exact Solutions of Sparse Maximum Cut and Sparse Unconstrained Binary Quadratic Optimization Problems. *2022 Proceedings Of The Symposium On Algorithm Engineering And Experiments (ALENEX)*. pp. 54-66.

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 04



Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : A double oracle approach to minmax regret optimization problems with interval data, Hugo Gilbert, Olivier Spanjaard, publié dans EJOR en 2017.

Fichier de élément : decision4.pdf

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Cet article est typique des travaux que nous menons en théorie de la décision algorithmique. Ils visent à exploiter des modèles connus de la théorie de la décision pour l'optimisation combinatoire en présence de données incertaines ou imprécises. L'algorithmique proposée pour la résolution exploite une "vision théorie des jeux" du problème et souligne les synergies entre la théorie de la décision, la théorie des jeux, l'optimisation combinatoire et bien sûr la programmation linéaire.

Dans la terminologie de la programmation mathématique, l'approche proposée peut être vue comme mêlant génération de variables et de contraintes pour résoudre un programme linéaire de dimension exponentielle dans la taille des données d'entrée.

Néanmoins, la vision théorie des jeux que nous avons développée ne requiert aucune connaissance préalable de ces techniques, et l'approche peut donc être appréhendée plus simplement par des communautés potentiellement moins familières avec les outils de la recherche opérationnelle, comme par exemple les chercheuses et chercheurs en intelligence artificielle.

L'approche est particulièrement générale et peut ainsi être utilisée dans de multiples problèmes d'optimisation combinatoire robuste où l'on dispose d'un algorithme efficace pour résoudre la version nominale (i.e., sans incertitude) du problème.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Ce travail s'inscrit dans une direction de recherche plus large que nous avons commencé à explorer à l'occasion de la thèse d'Hugo Gilbert (aujourd'hui maître de conférences au LAMSADE, à l'Université Paris-Dauphine). Il s'agit d'étudier l'emploi de méthodes de type maître-esclaves, également dites *à base d'oracles*, pour l'optimisation de critères non-linéaires de décision. Ces méthodes permettent de résoudre des problèmes de grande taille en procédant de manière incrémentale.

Parmi ces méthodes à base d'oracles figure en particulier l'algorithme de double oracle proposé par McMahan et al. [4], qui permet de déterminer efficacement un équilibre de Nash en stratégies mixtes d'un jeu à deux joueurs à somme nulle comportant un espace combinatoire de stratégies pour chacun des joueurs. Disposant de cet algorithme, nous nous sommes intéressés à exploiter une "vision théorie des jeux" pour l'optimisation du critère de regret minimax (de Savage) dans des problèmes d'optimisation robuste avec données intervalles [2]. Nous avons également développé une approche similaire dans une autre publication, pour l'optimisation du critère SSB (*Skew Symmetric Bilinear Utility* [1]) dans des problèmes de décision séquentielle dans le risque [3].

Cette modélisation consiste à aborder les problèmes d'optimisation minimax en les reformulant comme un jeu à deux joueurs, puis à rechercher un équilibre de Nash en stratégies mixtes de ce jeu. Par exemple, en optimisation combinatoire robuste, où l'on doit choisir une solution réalisable en présence de plusieurs scénarios (possiblement une infinité) sur les paramètres de la fonction objectif, l'ensemble des stratégies du premier joueur correspond à l'ensemble des solutions réalisables du problème étudié, et l'ensemble des stratégies du second joueur correspond à l'ensemble des scénarios possibles sur la fonction objectif (ce second joueur représente la nature). Le jeu à deux joueurs ainsi défini est de grande taille car l'ensemble des stratégies de chaque joueur est défini en compréhension.

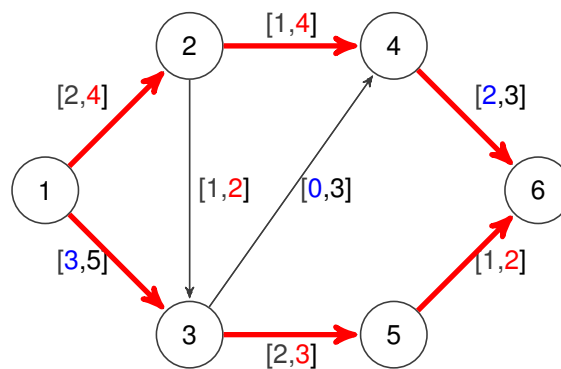


FIGURE 1 – Une stratégie mixte de 1 à 6 pour le joueur chemin, avec une probabilité 1/2 sur chaque chemin, et une meilleure réponse du joueur nature (en couleurs) pour le critère du regret maximum.

Concevoir un algorithme de double oracle pour un problème particulier consiste à spécifier des oracles, c'est-à-dire les procédures de détermination d'une meilleure réponse pour chacun des joueurs à une stratégie mixte de l'adversaire (voir figure 1 pour une illustration sur le problème de plus court chemin robuste). Grâce à ces oracles, la méthode explicite de manière incrémentale un sous-jeu réduit du jeu à deux joueurs de grande taille. Une fois que la méthode a convergé, une solution randomisée du problème est retournée, ce qui correspond à une distribution de probabilité sur des solutions réalisables. Ce type de solutions fait particulièrement sens si le problème est répété. Cette situation se présente par exemple dans le cas d'un trajet répété quotidiennement, dont la recherche peut être modélisée comme un problème de plus court chemin robuste avec valuations intervalles sur les arcs du graphe. L'identification d'une solution randomisée optimale est d'autant plus utile que sa valeur fournit une borne inférieure de la valeur optimale d'une solution déterministe, ce qui permet de développer des procédures de *branch and bound* si une solution déterministe est recherchée.

Nous avons implanté et testé ce type d'algorithmes pour le problème de plus court chemin robuste avec données intervalles. Les tests ont été menés sur des données synthétiques et sur des données issues du monde réel (villes de New-York et de San Francisco, comportant des centaines de milliers de sommets et d'arcs). Ils ont montré que ces algorithmes sont particulièrement efficaces lorsque certaines solutions sont dominantes par rapport à d'autres, car l'algorithme converge alors très rapidement.

Comme mentionné plus haut, l'approche présentée dans cette publication est très générale et peut donc être spécifiée pour *tout* problème d'optimisation combinatoire robuste avec données intervalles, dès lors que l'on dispose d'un algorithme efficace pour la version nominale du problème. Plus largement, des approches de même type peuvent certainement être développées pour l'optimisation d'autres critères minmax dans des problèmes de décision avec un espace combinatoire de solutions potentielles (comme cela a été fait par exemple pour des problèmes de décision séquentielle dans le risque [3]).

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Peter C Fishburn. Nontransitive measurable utility. *Journal of Mathematical Psychology*, 26(1) :31–67, 1982.
- [2] Hugo Gilbert and Olivier Spanjaard. A double oracle approach to minmax regret optimization problems with interval data. *European Journal of Operational Research*, 2017.
- [3] Hugo Gilbert and Olivier Spanjaard. Complexity of Solving Decision Trees with Skew-Symmetric Bilinear Utility. In *Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-2017)*, Sydney, Australia, August 2017.
- [4] H Brendan McMahan, Geoffrey J Gordon, and Avrim Blum. Planning in the presence of cost functions controlled by an adversary. In *Proceedings of the 20th International Conference on Machine Learning (ICML-03)*, pages 536–543, 2003.