

Thèmes de recherche

LERIA
Université d'Angers
www.leria.univ-angers.fr

David LESAIN

Directeur

david.lesaint@univ-angers.fr

Eric MONFROY

Directeur adjoint

eric.monfroy@univ-angers.fr

Membres

- Touria AÏT EL MEKKI, MCF
- Tassadit AMGHAR, MCF-HDR
- Vincent BARICHARD, MCF
- Benoît DA MOTA, MCF
- Martín DIEGUEZ LODEIRO, MCF
- Béatrice DUVAL, PR
- Laurent GARCIA, MCF
- David GENEST, MCF
- Adrien GOËFFON, MCF-HDR
- Olivier GOUDET, MCF
- Nicolas GUTOWSKI, MCF
- Jin-Kao HAO, PR
- Jean-Philippe HAMIEZ, MCF
- Olivier HÛ, MCF
- Frédéric LARDEUX, MCF-HDR
- Claire LEFEVRE, MCF
- David LESAIN, PR
- Stéphane LOISEAU, PR
- Eric MONFROY, PR
- Jean-Michel RICHER, MCF
- Frédéric SAUBION, PR
- Igor STÉPHAN, MCF-HDR
- Aïcha BAKKI, ECER
- Antoine JAMIN, ECER
- Marc LEGEAY, ECER
- Claudia VASCONCELLOS-GAETE, ECER
- Corentin BÉHUET, Doctorant
- Salah Eddine BOUTERFIF, Doctorant
- Nathan FRADET, Doctorant
- Cyril GRELIER, Doctorant
- Bryan GARREAU, Doctorant
- Axel GUÉRIN, Doctorant
- Pengfei HE, Doctorant
- Jules LEGUY, Doctorant
- Alexandre LETARD, Doctorant
- Mingjie LI, Doctorant
- Yinuo LI, Doctorant
- Thomas SAOUT, Doctorant
- Youji ZOU, Doctorant

Les thèmes de recherche du LERIA

Le Laboratoire d'Étude et de Recherche en Informatique d'Angers (LERIA) mène des recherches de nature fondamentale et appliquée dans deux domaines connexes de l'informatique : l'intelligence artificielle et l'optimisation combinatoire. Les sujets abordés forment un continuum que l'on peut décliner en quelques grandes thématiques :

- Méthodes de résolution approchée pour l'optimisation combinatoire issues du calcul évolutionnaire ;
- Techniques de modélisation, reformulation et résolution exacte fondées sur la programmation par contraintes et la logique propositionnelle ;
- Langages et algorithmes pour le raisonnement non-monotone fondées sur la programmation par ensembles réponses et autres formalismes de contraintes quantifiées ;
- Méthodes d'apprentissage artificiel en appui de techniques de résolution ou portées à d'autres champs disciplinaires tels la bio-informatique et la chimie quantique ;

- Méthodes d'interrogation de bases de connaissances fondée sur des modèles de représentation graphiques.

À ces travaux théoriques s'ajoutent le développement d'approches à visée applicative. Ces travaux, souvent menés dans le cadre de collaborations industrielles ou de projets pluridisciplinaires, recouvrent des domaines variés. Citons entre autres exemples la résolution de problèmes logistiques par optimisation combinatoire, l'analyse logique de données fondée sur le raisonnement symbolique, et le développement de systèmes de recommandation par apprentissage artificiel.

Le LERIA est organisé en 3 thèmes d'activité :

- Thème **MOC** : Méta-heuristiques et Optimisation Combinatoire
- Thème **RIC** : Raisonnement dans l'Incertain et Contraintes
- Thème **ARC** : Apprentissage Artificiel et Représentation des Connaissances.

Le thème MOC

Les activités du thème MOC se concentrent sur la résolution des problèmes combinatoires difficiles en s'appuyant principalement sur des méthodes approchées et hybrides. Le thème se positionne donc naturellement à la croisée de la recherche opérationnelle et de l'intelligence artificielle. Dans ce contexte, nous visons trois types d'objectifs scientifiques complémentaires :

- *Étude de problèmes de référence NP-difficiles et développement d'algorithmes performants dédiés pour repousser la limite en termes de résolution pratique.* Pour cela, nous nous focalisons sur les méthodes métaheuristiques (e.g., recherche locale, algorithmes évolutionnaires) et développons des algorithmes qui exploitent au mieux les caractéristiques de chaque problème étudié.

Par ailleurs, nous approfondissons les liens entre apprentissage artificiel (e.g., apprentissage par renforcement) et optimisation pour améliorer la conception et la performance de nos approches de résolution (guider les heuristiques, régler et contrôler les paramètres...). Étant donné que les problèmes de référence sont typiquement des modèles généraux permettant la formalisation de nombreuses applications pratiques, les avancées dans ce domaine pourront avoir des impacts importants allant bien au delà des problèmes étudiés.

- *Études et développement de méthodes et stratégies de résolution génériques.* Pour enrichir notre spectre en termes d'approches de résolution, en fort lien avec l'étude de problèmes de référence particuliers, le thème MOC s'attache aussi à élaborer des stratégies de résolution innovantes. Un grand travail expérimental est nécessaire, non seulement pour tester les solutions algorithmiques originales, mais aussi pour comprendre le comportement des mécanismes évolutionnaires, la structure des problèmes étudiés et l'adaptabilité des algorithmes de recherche aux différents problèmes (→ *Analyse des paysages de fitness*).
- *Résolution de problèmes pratiques.* De manière naturelle, nos approches d'optimisation combinatoire trouvent des applications variées. En collaboration avec des partenaires industriels mais également académiques d'autres disciplines (e.g., biologie), nous apportons notre expertise en modélisation et en résolution.

Résolution de problèmes de référence NP-difficiles [64, 91, 105, 116, 52, 53, 45, 65, 88, 115, 59, 92, 114, 24, 57, 63, 35, 11, 26, 23, 22, 25, 60, 93, 125, 58, 67, 66, 119]

Les problèmes NP-difficiles, par leur difficulté intrinsèque, constituent une classe de pro-

blèmes privilégiés pour les métaheuristiques. Une grande partie de ces problèmes sont étudiés depuis longtemps et certains d'entre eux (e.g. coloration, max-clique) ont fait l'objet de compétitions internationales. Par conséquent, la recherche dans ce domaine reste très concurrentielle. Par ailleurs, ces problèmes permettant la modélisation de nombreuses applications réelles, les avancées sur leur résolution pourront avoir des impacts conséquents dans de nombreux domaines applicatifs. Nous avons développé des algorithmes performants pour plusieurs problèmes bien connus : coloration de graphe (sum coloring, equitable coloring, weighted vertex coloring, bandwidth coloring, Latin square completion), problèmes de clique (max-clique, s-plex, balanced bi-clique), knapsack problems (set-union knapsack, quadratic knapsack, multidimensional knapsack), partitionnement de graphe (clique partitioning, bisection, max-k-cut, conductance minimization), problèmes de dispersion et groupement (capacitated clustering, maximum min-sum dispersion). Évalués sur les « benchmarks » de la littérature de ces problèmes, nos algorithmes se sont souvent avérés très compétitifs par rapport aux meilleures méthodes de l'état de l'art. Pour élaborer ces algorithmes, nous avons travaillé sur différentes approches incluant la recherche à trajectoire unique (recherche locale), la recherche à base d'une population (recherche évolutionnaire) et la transformation de modèles. Ainsi, nous avons mené des analyses fines des propriétés des problèmes cibles et conçu des stratégies et opérateurs de recherche dédiés, qui ont contribué aux performances observées. Une grande partie de ces travaux ont été réalisés en collaboration avec des membres des thèmes RIC et ARC ainsi que des chercheurs à l'international. Ces résultats, obtenus dans le cadre de recherche doctorale/post-doctorale, ou grâce à des collaborations à l'extérieur, ont donné lieu à une

quarantaine de publications dans des revues (dont plus de 98% sont classées Q1 Scimago) : IEEE Transactions on Evolutionary Computation, IEEE Transactions on Cybernetics (2019), Annals of Operations Research, Applied Soft Computing, Computers & Operations Research, European Journal of Operational Research, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Expert Systems with Applications, Future Generation Computer Systems, Information Science, Inform's Journal on Computing, Knowledge-based Systems, Journal of Heuristics, Natural Computing. Pour assurer une large diffusion de nos travaux, nous avons mis à disposition de la communauté le code source d'une grande partie des algorithmes publiés (ce qui représente une trentaine de codes depuis 2015).

Méthodes et stratégies génériques de résolution [[12](#), [13](#), [43](#), [28](#), [98](#), [99](#), [121](#), [120](#), [122](#), [123](#), [124](#), [68](#), [10](#), [36](#), [17](#), [44](#), [33](#), [51](#), [95](#)]

En plus de nos travaux sur les problèmes de références cités ci-dessus, nous avons travaillé sur l'élaboration de méthodes et stratégies généralement applicables pour résoudre différents problèmes combinatoires. Les métaheuristiques comportent en général de nombreux paramètres qui déterminent leur comportement lors de la résolution de problèmes et ont un impact sur leurs performances. Il est alors possible de rechercher, dans l'espace des algorithmes possibles, la meilleure configuration ou le meilleur réglage en abordant cette tâche comme un problème d'optimisation. Un de nos objectifs est donc de produire des algorithmes plus autonomes, dépendant moins de connaissances expertes ou empiriques des utilisateurs. En utilisant des techniques issues de l'apprentissage par renforcement, nous avons proposé de nouvelles approches pour mieux contrôler les paramètres de métaheuristiques classiques mais aussi d'algo-

algorithmes de recherche exhaustive (Branch and Bound). Nous avons développé ainsi un contrôleur générique qui permet de gérer de manière dynamique les paramètres d'algorithmes de résolution. Cette approche a pu être étendue avec succès au domaine de l'optimisation multi-objectif (sac à dos multi-dimensionnel avec des approches exactes mais aussi à base de recherche locale). Les algorithmes évolutionnaires ont également vocation à générer de nouveaux concepts, notamment dans le cadre de la programmation génétique. Dans ce contexte, nous avons abordé l'apprentissage de stratégies pour des solveurs complexes (SAT Modulo Theory). Ceci revient à de l'optimisation de code pour les langages de stratégies des systèmes SMT, et plus particulièrement pour Z3 de Microsoft. Également profitant du principe de l'apprentissage par renforcement, nous avons défini "Probability learning based local search" pour des problèmes de groupement (dont la coloration est un cas particulier), qui utilise l'apprentissage de probabilités pour apprendre à générer des solutions initiales pour la recherche locale. Nous avons aussi proposé la méthode "Frequent pattern based search" qui unifie la fouille de données et l'approche évolutionnaire mémétique. Nous avons élaboré "Variable population memetic search" qui intègre un mécanisme adaptatif pour ajuster dynamiquement la taille de la population d'un algorithme mémétique pour mieux équilibrer l'exploration et l'exploitation du processus de recherche. Les autres méthodes génériques combinant l'apprentissage (au sens large) et l'optimisation que nous avons développées comprennent "Opposition-based memetic search", "Diversification-based learning", et "Distance-guided local search". Ces travaux, réalisés dans le cadre de plusieurs thèses ou grâce à des collaborations à l'extérieur, ont donné lieu à une dizaine de publications dans des revues (classées Q1 Scimago) telles que IEEE Tran-

sactions on Evolutionary Computation (2017), IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics : Systems (2015), Applied Soft Computing (2015, 2016, 2018), Expert Systems with Applications (2016), Journal of Heuristics (2017, 2019, 2020), International Transactions on Operational Research (2020), ainsi que des conférences internationales du domaine : EuroGP (2016), ICTAI (2016), HPCS (2018).

Analyse des paysages de fitness [7, 8, 6, 54, 56, 55, 107, 109, 108, 106] Le thème MOC s'attache aussi bien à résoudre des problèmes d'optimisation spécifiques qu'à élaborer des stratégies de résolution innovantes. Un grand travail expérimental est nécessaire, non seulement pour tester les solutions algorithmiques originales, mais aussi pour comprendre le comportement des mécanismes évolutionnaires, la structure des problèmes étudiés et l'adaptabilité des algorithmes de recherche aux différents problèmes. Les travaux centrés autour des paysages de fitness permettent d'apporter des éléments plus fondamentaux de compréhension de la dynamique des algorithmes de recherche locale et évolutionnaires pour explorer des espaces de recherche combinatoires, en fonction des caractéristiques des instances et des problèmes à résoudre. Nous avons en particulier étudié l'influence des mécanismes d'exploitation et d'exploration de la recherche, comme l'influence des critères de sélection de voisins sur la qualité des trajectoires évolutionnaires. Un effort particulier a été porté sur les paysages de fitness artificiels paramétrables au moyen de fonctions NK, ainsi que sur l'étude de paysages de problèmes de référence, pseudo-booléens ou à base de permutations. Caractériser un paysage de fitness permet de comprendre et d'anticiper la performance d'un algorithme de recherche sur une instance de problème. Partant de ces résultats, nous avons également initié des travaux dans lesquels les paysages

de fitness évoluent eux-mêmes par des mécanismes évolutifs de manière à ce que l'algorithme de résolution et l'instance à résoudre puissent s'adapter favorablement. Les contributions spécifiquement axées sur les paysages de fitness ont été publiées des revues (*Applied Soft Computing*, *International Transactions on Operational Research*, *Natural Computing*) et présentées à plusieurs reprises dans des conférences internationales, particulièrement celles spécialisées en calcul évolutionnaire (GECCO, EvoCOP, EA).

Autres contributions, applications

- *Bioinformatique* [34, 118, 90, 2, 117, 1, 83, 97, 3, 110, 27, 21, 15, 20, 14] Nous avons développé de nouvelles méthodes pour la reconstruction phylogénétique à partir de séquences moléculaires et pour l'analyse logique de données (projets régional et PICS CNRS), qui permettent en particulier de fournir des explications pour mieux caractériser des groupes de données biologiques. Nos travaux ont permis la mise en œuvre d'un test d'identification pour une certaine famille de bactéries phytopathogènes. Nous avons également collaboré sur un algorithme d'identification de molécules en chimie organique via spectrographie RMN. Ces travaux collaboratifs inscrivent durablement les liens entre le pôle MathSTIC et le pôle végétal de l'université d'Angers.
- *Secteur social et médico-social* [18, 19, 89] Comme dans tous les pays développés, le secteur social et médico-social connaît en France une évolution rapide en raison de la croissance continue de son vieillissement et du handicap. Dans ce secteur, nous avons contribué via 2 contrats CIFRE au développement d'algorithmes et d'outils d'aide à la décision pour l'élaboration de plans d'actions dans les établissements sociaux et médico-sociaux d'une part et la planification

du projet personnalisé d'autre part.

- *Réseaux de capteurs et systèmes embarqués* [30, 29, 84] Dans le domaine de réseaux de capteurs sans fil et systèmes embarqués, nous avons proposé des algorithmes d'optimisation pour le suivi de cibles, la maximisation de la durée de vie du réseau et l'amélioration de performance de systèmes. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de 2 projets régionaux et des collaborations locales ou internationales. Certains résultats issus de ces travaux (e.g., outils de planification d'actions dans les établissements sociaux et médico-sociaux) sont en exploitation dans des produits commerciaux.
- *Logistique* [32, 31] Dans le cadre de chaînes d'approvisionnement en boucle fermée, nous avons proposé un outil de planification pour la distribution d'équipements avec réinjection potentielle suite à réparation. Cet outil s'appuie sur une nouvelle métaheuristique travaillant sur des séquences d'actions de transfert et de réparation permettant de générer des plans de manière itérative. Une validation à l'échelle industrielle a permis de valider cette approche et a mené à un dépôt de brevet.

Le thème RIC

Le thème RIC fédère les travaux du laboratoire autour du raisonnement non-monotone et des approches déclaratives pour la résolution de problèmes combinatoires. L'accent est mis sur la représentation des connaissances et les efforts se portent sur la conception de langages de modélisation et le développement de techniques de transformation ou d'encodage de modèles visant à concilier flexibilité et efficacité. Les travaux, qui abordent les fondements théoriques de ces outils mais aussi leur implantation et leurs applications, s'appuient sur des paradigmes de modélisation haut-niveau tels la programmation par ensembles-réponses (ASP)

et la programmation par contraintes (PPC, CHR) ainsi que sur des formalismes plus élémentaires tels CSP et SAT :

- Extension des cadres ASP et CHR : intégration de variables existentielles en ASP pour le raisonnement ontologique, gestion de préférences en ASP possibilistes pour la révision de croyances, quantification de contraintes en CHR pour les problèmes à horizon non borné.
- Modélisation, transformation et encodage : CSP ensemblistes et encodages CSP/SAT, décomposition de problème fondée sur l'interprétation abstraite et la PPC, PPC pour la transformation de modèles en ingénierie des modèles, PPC pour la recherche de motifs en fouille de données.

Programmation par ensembles-réponses [74, 73, 9, 39, 40, 4, 38, 37] L'ASP (Answer Set Programming) est un langage déclaratif développé afin de traiter des connaissances en intelligence artificielle, lorsque les informations sont incomplètes, ou pour résoudre des problèmes combinatoires.

Nos travaux portent sur diverses extensions du cadre de l'ASP et allient théorie et pratique.

Nous développons depuis plusieurs années un solveur ASP, ASPeRiX, basé sur une approche originale guidée par les règles et ne nécessitant pas d'instanciation préalable du programme. Nos travaux récents montrent que l'algorithme sous-jacent à ASPeRiX peut s'exprimer de manière efficace et extensible en CHR. Nous travaillons à une mise à jour majeure d'ASPeRiX basée sur le langage CHR (et sa version CHR++ développée au sein du laboratoire) qui permettra de remplacer le backtrack chronologique d'ASPeRiX par un backtrack intelligent et, d'un autre côté, pourra intégrer aisément des contraintes définies par l'utilisateur ainsi que les extensions modernes d'ASP.

Par ailleurs, dans le cadre de l'étude de la fusion multi-sources et de l'interrogation d'informations issues du web, généralement exprimées en logique de description (projet ANR ASPIQ), nous nous sommes par exemple intéressés à l'intégration dans l'ASP des variables existentielles, inhérentes aux ontologies exprimées en logique de description, ainsi qu'à l'interrogation de ces ontologies en ASP.

D'autre part, nous nous intéressons à la révision de croyances lorsque les connaissances sont exprimées par un programme ASP. Cette problématique étant peu étudiée, nous proposons une sémantique, des postulats de révision et une étude de complexité de la révision en ASP. Enfin, l'intégration de préférences entre connaissances a amené à l'étude de la révision en ASP possibiliste. Nous étudions de nouveaux modes de révision tirant profit de la structure des règles ASP (révision par ajout, par exemple) et nous essayons de déterminer s'il est possible d'élaborer une caractérisation logique de l'ASP possibiliste en termes de logique d'équilibre ce qui pourrait donner un cadre pour l'étude de théories arbitraires dans l'ASP possibiliste.

Concernant l'ASP, nous nous intéressons plus généralement à l'explicabilité des résultats. Cette étude est nécessaire pour nos travaux sur le backjumping et pourra aussi être utilisée dans le cadre de l'ASP possibiliste.

Toujours préoccupés par la mise en pratique de l'ASP sur des applications réelles, nous sommes partie prenante du projet Potassco Solutions, initié par nos collègues de Potsdam, dont nous sommes les correspondants français.

Contraintes ensemblistes [71, 69, 70, 96]

Par rapport aux modélisations basées sur des matrices ou des entiers, les ensembles sont pratiques car ils réduisent naturellement le nombre de symétries. De plus, il est bien connu que de nombreux problèmes peuvent être facilement

modélisés avec des contraintes ensemblistes. Plusieurs solveurs de contraintes spécialisés pour les contraintes ensemblistes existent déjà. Nous nous intéressons à divers aspects des contraintes ensemblistes : les modèles CSP avec contraintes ensemblistes, la réduction des variables à domaine fini et des variables ensemblistes ainsi qu'à l'encodage des contraintes ensemblistes en SAT.

Encodage CSP/SAT [112, 113] Nous travaillons sur les encodages CSP vers SAT afin de mieux comprendre les facteurs clés qui déterminent leurs caractéristiques ainsi que leurs effets sur la résolution. Dans un premier temps, nous analysons l'impact de la provenance des variables du modèle SAT sur l'heuristique de branchement des solveurs SAT. En effet, certaines variables du modèle SAT correspondent directement à des variables du modèle CSP alors que d'autres, dites auxiliaires, sont ajoutées lors de l'encodage des contraintes du modèle CSP. Nous travaillons également sur l'encodage de mécanismes de propagation propres aux solveurs CSP dans le modèle SAT. Afin d'encoder au mieux le maximum d'informations provenant du mécanisme de propagation CSP sans pour autant augmenter de manière démesurée la taille de l'instance SAT, nous proposons de nouveaux encodages SAT comme par exemple l'Abacus encoding.

Problèmes quantifiés sous contraintes [5] Il existe plusieurs formalismes et langages de modélisation issus de la programmation par contraintes comme CSP et CHR (Constraint Handling Rules). Les CSP ont donné lieu à plusieurs extensions dont les QCSP (Quantified Constraint Satisfaction Problem) qui adressent les problèmes quantifiés sous contraintes. Néanmoins les formalismes quantifiés de la littérature sont à horizon borné ce qui rend diffi-

cile voire impossible la modélisation de certains problèmes quantifiés qui nécessite une représentation en intension et non en extension de la combinatoire. C'est pourquoi nous proposons une approche étendant CHR pour intégrer la quantification. Ceci nous permet de modéliser des problèmes à horizon non borné.

Constraint Handling Rules [5] La programmation par contraintes tire ses racines de la programmation logique et peut être vue comme une forme de programmation logique qui incorpore des contraintes. Cette variante de la programmation logique, appelée communément programmation logique par contraintes, a été implémentée dans différents systèmes (Prolog III, CLP (R) et CHIP). Ces systèmes sont aujourd'hui supplantés par les solveurs PPC plus efficaces. Toutefois, lorsque l'on souhaite innover, il est nécessaire de sortir du carcan d'un solveur PPC, tâche difficile avec les solveurs actuels. C'est pourquoi depuis quelques années nous cherchons un langage de modélisation de contraintes d'un autre niveau d'abstraction. Notre choix s'est porté sur CHR (Constraint Handling Rules). CHR est un langage de modélisation et de programmation de haut niveau basé sur des règles de propagation descriptives et applicables. Les axiomes du langage sont de plus bas niveau que les contraintes habituelles d'un solveur PPC, mais elles permettent de redéfinir facilement et rapidement chacune d'elles. CHR est implémentée comme extension d'un langage hôte et est disponible pour Prolog, Haskell, Java ... C'est pourquoi nous développons CHR++¹, notre propre implémentation de CHR au-dessus de C++. CHR++ implémente un mécanisme d'exploration arborescent avec retour arrière permettant la recherche d'une solution comme un solveur PPC. Il allie à la fois la puissance de modélisation et la simplicité d'utilisation

1. <http://chrpp.barichard.com/>

d'un solveur PPC, la souplesse d'un langage de programmation logique et la performance d'un langage impératif. Nous avons utilisé la logique linéaire pour formaliser le système, et travaillons à étendre le langage par l'ajout de concepts tels que : la disjonction hiérarchique, les contraintes *bang* ou les contraintes permanentes. Nos travaux sont ensuite appliqués à divers domaines et applications comme les QCSP, l'ASP, la transformation de modèles et la conception d'emplois du temps.

Modélisation et résolution hybrides Actuellement, les travaux liés à la frontière entre la programmation logique non-monotone (et de son langage phare, ASP) et la résolution de problèmes combinatoires contraints sur les domaines finis ne considère qu'un unique point de vue consistant à faire coopérer à haut niveau un solveur ASP et un solveur de contraintes. Un axe que nous explorons est d'appliquer des mécanismes de la propagation de contraintes à l'ASP.

Applications en cours

- *Ingénierie dirigée par les modèles* [72, 61] Cette méthode consiste à abstraire les différentes parties d'un système sous la forme d'un ensemble de modèles, chaque modèle adoptant un niveau d'abstraction différent et adapté aux besoins de la personne les utilisant. Nous avons défini une approche permettant d'intégrer des contraintes dans des transformations de modèles, pour spécifier certaines contraintes spécifiques au domaine d'application (par exemple, la planification d'emploi du temps).
- *Emplois du temps universitaires (EDT)*. Le calcul d'EDT se traite généralement par optimisation combinatoire et des travaux récents se sont intéressés à la révision d'EDT

pour mieux répondre au caractère dynamique du problème et aux exigences des différents acteurs en termes de contrôle et d'explicabilité du calcul. Notre approche vise à établir un cadre formel pour la révision d'EDT ciblant particulièrement le système universitaire français et qui se fonde sur la programmation par contraintes et possibles hybridations afin d'intégrer opérations et stratégies de réparation.

- *L'Inférence grammaticale* consiste à apprendre automatiquement une grammaire formelle (généralement sous forme de règles de productions ou d'un automate) à partir d'un ensemble d'observations. Nous nous intéressons actuellement à la modélisation SAT et INLP d'automates finis non déterministes devant accepter un ensemble de mots donnés et rejeter un ensemble de mots n'appartenant pas au langage.

Le thème ARC

Les travaux du thème ARC proposent des solutions à base de modèles de représentation des connaissances et de méthodes d'apprentissage artificiel pour l'analyse et la compréhension de problèmes scientifiques ou applicatifs. Concernant la représentation des connaissances, les apports concernent notamment les données liées (linked data) et les modèles graphiques pour l'élicitation et le raisonnement sur les connaissances métiers d'un domaine. Concernant l'apprentissage, les travaux portent, d'une part, sur les systèmes de recommandation, et d'autre part sur l'inférence de connaissances à partir de données dans le domaine de la biologie et de la chimie moléculaire. En collaboration avec le thème MOC, des travaux sont également menés pour intégrer des méthodes d'apprentissage et de fouille de données au sein des recherches méta-heuristiques

Représentation et interrogation dans les modèles du web des données et des cartes cognitives [102, 103, 104, 101, 100, 111, 80, 94]

Deux types de travaux ont été menés autour de ces problématiques. D'une part, le web des données est aujourd'hui particulièrement populaire pour stocker des connaissances avec RDF et OWL. Les contributions de nos travaux ont consisté d'abord à fournir une approche plus performante pour interroger en SPARQL des bases (par l'usage d'aperçus des bases interrogées), ensuite à proposer une méthodologie permettant de faire évoluer les bases tout en garantissant la non-dégradation de celles-ci, enfin en proposant une nouvelle approche visuelle et algorithmique pour construire des requêtes SPARQL en s'inspirant des travaux de graphes conceptuels. Ces travaux ont été présentés dans les conférences EGC (2015) et RFIA (2016). D'autre part, les cartes cognitives sont un modèle visuel de représentation des connaissances d'influence. Les contributions des travaux menés ont porté sur l'extension du modèle à des connaissances temporelles de type intervalles périodiques, et sur la proposition d'un langage et d'un moteur de requêtes des cartes qui permettent d'analyser les cartes. Une partie de ce travail a été menée à partir d'une application réelle de 50 cartes produites par des marins pêcheurs de la région pays de la Loire.

Systèmes de recommandation [85, 87, 86, 49, 50, 47, 48, 46]

Les travaux sur ce sujet sont consacrés à deux problèmes, la recommandation contextuelle de services d'une part, et l'apprentissage multi-critères guidé par les besoins des utilisateurs d'autre part. Les algorithmes de bandits-manchots pour les systèmes de recommandation sensibles au contexte font l'objet de nombreuses études. Afin de répondre aux enjeux de cette thématique, nos contributions se sont organisées autour de 3

axes : les systèmes de recommandation, les algorithmes de bandits-manchots (contextuels et non contextuels), et le contexte. La première partie des contributions a porté sur les algorithmes de bandits-manchots pour la recommandation. Elle aborde la diversification des recommandations visant à améliorer la précision individuelle. La seconde partie a porté sur la capture de contexte, le raisonnement contextuel pour les systèmes de recommandation d'événements culturels dans la ville intelligente, et l'enrichissement dynamique de contexte pour les algorithmes de bandits-manchots contextuels. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'une thèse et ont donné lieu à une preuve de concept dans le cadre d'un projet financé par la région. Concernant l'apprentissage multi-critères guidé par les besoins des utilisateurs, ces travaux visent la construction d'un système de navigation de plaisance intelligent et se positionnent dans le cadre des systèmes de recommandation. Ils portent sur l'utilisation de bandits manchots combinatoires (COM-MAB) pour lesquels nous avons proposé de pouvoir utiliser un vecteur de récompenses partiel quand l'acquisition d'un vecteur complet nécessitant alors des sollicitations directes et trop fréquentes de l'utilisateur, semble difficile. C'est le cas dans un environnement maritime. L'approche que nous avons proposée permet de maintenir une précision globale proche de celle obtenue par les méthodes utilisant des vecteurs complets. Ces travaux font l'objet d'une collaboration industrielle.

Intelligence artificielle et chimie moléculaire [81, 41, 42, 16, 82, 83]

La découverte de molécules possédant des propriétés particulières est un objectif majeur en chimie, et depuis quelques années, de nombreux travaux ont étudié l'intérêt de guider ce processus par des méthodes d'intelligence artificielle. Concernant la génération de molécules prometteuses

pour les matériaux moléculaires, qui intéresse notre partenaire chimiste, de nombreux verrous scientifiques sont à lever. En effet, l'espace chimique est gigantesque et peu connu alors même que certains îlots ont été largement explorés. De plus, le calcul des propriétés des molécules est un processus très coûteux ; certains travaux essaient donc d'estimer les propriétés cibles par apprentissage artificiel. Après avoir proposé une méthode d'apprentissage supervisé pour prédire des distances interatomiques, nous avons démontré que les jeux de données disponibles, rares et peu diversifiés, ne permettent pas à ces méthodes de correctement généraliser. Nous avons alors défini une mesure de diversité, chimiquement pertinente, afin de générer de nouveaux jeux de données d'apprentissage. Une plateforme de calcul collaboratif et un système d'information de type Big Data permettent de calculer et partager nos résultats, de les curer et les mettre en forme. La génération de molécules est abordée comme un problème d'optimisation de la propriété cible sous contraintes (stabilité, synthétisabilité et préférences du chimiste). A l'opposé de certaines méthodes de la littérature basées sur des architecture complexes d'apprentissage profond, nous proposons un générateur moléculaire, flexible et interprétable, dont le cœur est un algorithme évolutionnaire opérant sur une représentation graphe des molécules. Les résultats obtenus sur des benchmarks de natures diverses, mais explorant un espace encore réduit, sont comparables à l'état de l'art, et permettent donc d'envisager l'hybridation de ce générateur avec des méthodes d'apprentissage lui permettant une exploration plus large de l'espace moléculaire. Ces travaux ont été financés par la commission recherche de l'Université d'Angers et par la région Pays de la Loire et son dispositif RFI Atlanstic 2020 (projet AIQU) dans le cadre de la bourse postdoctorale de Marta Glavatskikh en 2019 et par une

bourse doctorale ministérielle dans le cadre de la thèse de Jules LEGUY (2019-2022). Ces travaux sont réalisés en collaboration avec l'UMR de chimie MOLTECH-Anjou. Des outils libres sont mis à disposition de la communauté scientifique et le projet communique avec le public et l'implique à travers sa plateforme de calculs collaboratifs quchempedia@home.

Inférences de connaissances biologiques

[76, 79, 78, 77, 75] Un des problèmes actuels en bio-informatique est de comprendre les mécanismes de régulation au sein d'une cellule ou d'un organisme en exploitant les données issues de plateformes de biologie moléculaire. En collaboration avec l'Institut de Recherche en Horticulture et Semences (IRHS), nous avons étudié les réseaux de co-expression de gènes chez le pommier avec la particularité d'y intégrer les transcrits anti-sens qui sont des ARN généralement non-codants, dont les différents modes d'action sont encore mal connus. Dans notre étude exploratoire du rôle des anti-sens, nous avons proposé d'une part une analyse fonctionnelle différentielle qui met en évidence l'intérêt de l'intégration des données anti-sens en transcriptomique. D'autre part, concernant les réseaux de gènes pour lesquels de nombreuses méthodes d'apprentissage ont été développées, nous avons proposé de limiter l'inférence à un cœur de réseau qui identifie les interactions majeures au sein du réseau. De plus, nous avons introduit une méthode d'analyse différentielle de réseaux qui a fourni des pistes pertinentes pour l'étude de voies de signalisation impactées par les anti-sens. Ces travaux ont été portés par le projet régional GRIOTE

Autres contributions

- *Inférence causale* [62]

En collaboration avec l'équipe TAU de l'INRIA à Paris Saclay, nous avons développé des méthodes d'inférences de réseaux de

causalité à partir de données d'observation dont la méthode SAM (Structural Agnostic Model). SAM met en jeu des outils d'apprentissage profond pour apprendre un modèle fonctionnel causal qui a vocation à être un outil d'aide à la décision afin de comprendre et prédire les effets d'interventions sur le système étudié. Ces méthodes ont été intégrées dans une nouvelle librairie pour Python, CausalDiscoveryToolbox, disponible en ligne.

- *Évaluation des dispositifs numériques de médiation culturelle* Les outils de médiation numériques sont en pleine expansion tant dans le domaine culturel que touristique. Nos travaux visent entre autres la constitution d'une grille multi-critères d'évaluation prenant en considération les dimensions d'accessibilité, d'utilisabilité, d'émotion et de persuasion des interfaces, et de corréliser cette évaluation avec l'étude de l'expérience vécue par les usagers. Ces travaux ont été financés par la région Pays-de-la-Loire et ses dispositifs RFI TourismLab et RFI Ouest Industrie Créative et ont donné lieu au financement d'une bourse post-doctorale en 2018/2019. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication dans le colloque international "Méthodes visuelles dans les recherches sur la communication" en 2018, et dans différents colloques comme "Innovation dans le patrimoine" en 2018.
- *Intelligence artificielle pour l'archivistique* La messagerie électronique est une archive au sens mémoriel comme au sens informatique et l'ensemble des messageries d'un organisme sont une archive de cet organisme. L'objet de ce projet est de tester des stratégies d'évaluation archivistique sur les messageries électroniques, pour aboutir à une méthodologie d'exploration et d'aide à la décision de sélection des messages sur la base de critères de pertinence et de représentativité.

Le projet fait appel à des compétences croisées en matière d'évaluation archivistique et d'intelligence artificielle (TALN et apprentissage artificiel). Ce travail mené en collaboration avec le laboratoire Temos UMR CNRS 9016-Université d'Angers et le centre Jean Mabillon (École nationale des Chartes) fait l'objet du projet ANR BALise dans le cadre de l'AAP 2020 Révolution numérique : rapports au savoir et à la culture. Le projet est en phase deux de réponse aux experts.

Références

- [1] Wassim Ayadi, Mourad Elloumi, and Jin-Kao Hao. Bicfinder : a biclustering algorithm for microarray data analysis. *Knowl. Inf. Syst.*, 30(2) :341–358, 2012.
- [2] Wassim Ayadi, Mourad Elloumi, and Jin-Kao Hao. Pattern-driven neighborhood search for biclustering of microarray data. *BMC Bioinform.*, 13(S-7) :S11, 2012.
- [3] Wassim Ayadi and Jin-Kao Hao. A memetic algorithm for discovering negative correlation biclusters of DNA microarray data. *Neurocomputing*, 145 :14–22, 2014.
- [4] Jean-François Baget, Laurent Garcia, Fabien Garreau, Claire Lefèvre, Swan Rocher, and Igor Stéphan. Bringing existential variables in answer set programming and bringing non-monotony in existential rules : two sides of the same coin. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 82(1-3) :3–41, March 2018.
- [5] Vincent Barichard and Igor Stéphan. Quantified Constraint Handling Rules. In *ICLP 2019*, volume 306, pages 210–223, Las Cruces, United States, 2019.
- [6] Matthieu Basseur and Adrien Goëffon. On the efficiency of worst improvement for climbing NK-landscapes. In *the*

- 2014 conference *Proceedings of the 2014 conference on Genetic and evolutionary computation - GECCO '14*, pages 413–420, Vancouver, BC, Canada New York, New York, USA, Canada, 2014. ACM Press.
- [7] Matthieu Basseur and Adrien Goëffon. Climbing Combinatorial Fitness Landscapes. *Applied Soft Computing*, pages 688–704, 2015.
- [8] Matthieu Basseur, Adrien Goëffon, Frédéric Lardeux, Frédéric Saubion, and Vincent Vigneron. On the Attainability of NK Landscapes Global Optima. In *Proceedings of the Seventh Annual Symposium on Combinatorial Search*, pages 28–34, Non spécifié, United States, 2014. AAAI.
- [9] Christopher Beatrix, Claire Lefèvre, Laurent Garcia, Igor Stephan, Manuel Carro, Andy King, Neda Saeedloei, and Marina De Vos. Justifications and Blocking Sets in a Rule-Based Answer Set Computation. In *32nd International Conference on Logic Programming (ICLP 2016)*, volume 52, New york, United States, 2016.
- [10] Imen Ben Mansour, Matthieu Basseur, and Frédéric Saubion. A Multi-population Algorithm for Multi-Objective Knapsack problem. *Applied Soft Computing*, 70 :814–825, 2018.
- [11] Una Benlic and Jin-Kao Hao. A Multilevel Memetic Approach for Improving Graph k-Partitions. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 15(5) :624–642, October 2011.
- [12] Una Benlic and Jin-Kao Hao. Breakout Local Search for maximum clique problems. *Computers & Operations Research*, 40(1) :192–206, January 2013.
- [13] Una Benlic and Jin-Kao Hao. Breakout local search for the quadratic assignment problem. *Applied Mathematics and Computation*, 219(9) :4800–4815, January 2013.
- [14] Tristan Boureau, M. Kerkoud, F. Chhel, G. Hunault, Armelle Darrasse, Chrystelle Brin, K. Durand, Ahmed Hajri, Stéphane Poussier, Charles Manceau, F. Lardeux, F. Saubion, and Marie-Agnès Jacques. A multiplex-PCR assay for identification of the quarantine plant pathogen *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. *Journal of Microbiological Methods*, 92(1) :42–50, 2013.
- [15] Antoine Bruguière, Séverine Derbré, Joël Dietsch, Jules Leguy, Valentine Rahier, Quentin Pottier, Dimitri Bréard, Sorphon Suor-Cherer, Guillaume Viault, Anne-Marie Le Ray, Frédéric Saubion, and Pascal Richomme. MixONat, a software for the dereplication of mixtures based on ¹³C NMR spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 92(13) :8793–8801, June 2020.
- [16] Thomas Cauchy and Benoit Da Mota. Prédire une géométrie moléculaire convergée par des modèles d'apprentissage automatique. In *Workshop "L'intelligence artificielle pour la chimie des matériaux"*, Thiais, France, September 2018.
- [17] Audrey Cerqueus, Xavier Gandibleux, Anthony Przybylski, and Frédéric Saubion. On branching heuristics for the bi-objective 0/1 unidimensional knapsack problem. *Journal of Heuristics*, June 2017.
- [18] Brahim Chabane, Matthieu Basseur, and Jin-Kao Hao. R2-IBMOLS applied to a practical case of the multiobjective knapsack problem. *Expert Syst. Appl.*, 71 :457–468, 2017.

- [19] Brahim Chabane, Matthieu Basseur, and Jin-Kao Hao. Lorenz dominance based algorithms to solve a practical multiobjective problem. *Comput. Oper. Res.*, 104 :1–14, 2019.
- [20] Arthur Chambon, Tristan Boureau, Frédéric Lardeux, and Frédéric Saubion. Logical characterization of groups of data : a comparative study. *Applied Intelligence*, 48(8) :2284–2303, 2018.
- [21] Arthur Chambon, Frédéric Lardeux, Frédéric Saubion, and Tristan Boureau. Attributes for Understanding Groups of Binary Data. In *Pattern Recognition Applications and Methods*, pages 48–70. January 2020.
- [22] Yuning Chen and Jin-Kao Hao. Iterated responsive threshold search for the quadratic multiple knapsack problem. *Annals of Operations Research*, 226(1) :101–131, 2015.
- [23] Yuning Chen and Jin-Kao Hao. Memetic Search for the Generalized Quadratic Multiple Knapsack Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20(6) :908–923, 2016.
- [24] Yuning Chen and Jin-Kao Hao. An iterated "hyperplane exploration" approach for the quadratic knapsack problem. *Comput. Oper. Res.*, 77 :226–239, 2017.
- [25] Yuning Chen and Jin-Kao Hao. Two phased hybrid local search for the periodic capacitated arc routing problem. *European Journal of Operational Research*, 264(1) :55–65, 2018.
- [26] Yuning Chen, Jin-Kao Hao, and Fred Glover. A hybrid metaheuristic approach for the capacitated arc routing problem. *European Journal of Operational Research*, 253(1) :25–39, 2016.
- [27] Fabien Chhel, Adrien Goëffon, Antoine Lafosse, Frédéric Lardeux, Frédéric Saubion, Gilles Hunault, and Tristan Boureau. The bacterial strains characterization problem. In *26th Symposium On Applied Computing*, pages 108 – 109, Taichung, Taiwan, 2011. ACM.
- [28] Daniel Cosmin Porumbel, Jin-Kao Hao, and Pascale Kuntz. Spacing Memetic Algorithms. In *2th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation (GECCO-2011)*, pages 1061 – 1068, Dublin, Ireland, 2011. ACM.
- [29] Florian Delavernhe, Charly Lersteau, André Rossi, and Marc Sevaux. Robust scheduling for target tracking using wireless sensor networks. *Computers and Operations Research*, (116) :104873, January 2020.
- [30] Florian Delavernhe, André Rossi, and Marc Sevaux. Spatial and temporal robustness for scheduling a target tracking mission using wireless sensor networks. *Computers and Operations Research*, 132 :105321, August 2021.
- [31] Pierre Desport, Frédéric Lardeux, David Lesaint, Anne Liret, Carla Di Cairano-Gilfedder, and Gilbert Owusu. Model and Combinatorial Optimization Methods for Tactical Planning in Closed-Loop Supply Chains. In *2016 IEEE 28th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, San Jose, France, November 2016. IEEE.
- [32] Pierre Desport, Anne Liret, Carla Di Cairano Gilfedder, Gilbert Owusu, David Lesaint, and Frédéric Lardeux. A combinatorial optimisation approach for closed-loop supply chain inventory planning with deterministic demand. *European Journal of Industrial Engineering*, July 2017.

- [33] Giacomo Di Tollo, Frédéric Lardeux, Jorge Maturana, and Frédéric Saubion. An experimental study of adaptive control for evolutionary algorithms. *Applied Soft Computing*, 35 :359–372, 2015.
- [34] Béatrice Duval and Jin-Kao Hao. Advances in metaheuristics for gene selection and classification of microarray data. *Briefings Bioinform.*, 11(1) :127–141, 2010.
- [35] Zhang-Hua Fu and Jin-Kao Hao. Dynamic programming driven memetic search for the steiner tree problem with revenues, budget, and hop constraints. *INFORMS J. Comput.*, 27(2) :221–237, 2015.
- [36] Nicolás Gálvez Ramírez, Eric Monfroy, Frédéric Saubion, and Carlos Castro. Improving complex SMT strategies with learning. *International Transactions in Operational Research*, pages 1–25, 2020.
- [37] Laurent Garcia, Claire Lefevre, Odile Papini, Igor Stephan, and Eric Würbel. A Semantic characterization for ASP base revision. In *Scalable Uncertainty Management*, volume 10564 of *Scalable Uncertainty Management - 11th International Conference, SUM 2017, Granada, Spain, October 4-6, 2017, Proceedings*, pages 334–347, Granada, Spain, October 2017. Springer.
- [38] Laurent Garcia, Claire Lefèvre, Odile Papini, Igor Stephan, and Eric Würbel. Possibilistic ASP Base Revision by Certain Input. In Jérôme Lang, editor, *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2018, Stockholm, Sweden, July 2018.
- [39] Laurent Garcia, Claire Lefèvre, Igor Stéphane, and Fabien Garreau. Exists-ASP. In *1st Ontologies and Logic Programming for Query Answering workshop (ONTOLP 2015)*, Buenos Aires, Argentina, 2015.
- [40] Laurent Garcia, Claire Lefèvre, Igor Stéphane, Odile Papini, and Eric Würbel. A Semantic Characterization for ASP Base Revision. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 66 :989 – 1029, December 2019.
- [41] Marta Glavatskikh, Jules Leguy, Benoit Da Mota, and Thomas Cauchy. Machine learning in prediction of DFT-derived geometries and energies. *Journées Scientifiques SCF-BPL 2019*, April 2019. Poster.
- [42] Marta Glavatskikh, Jules Leguy, Gilles Hunault, Thomas Cauchy, and Benoit Da Mota. Dataset’s chemical diversity limits the generalizability of machine learning predictions. *Journal of Cheminformatics*, 11(1), December 2019.
- [43] Fred Glover and Jin-Kao Hao. f-Flip strategies for unconstrained binary quadratic programming. *Annals of Operations Research*, 238(1) :651–657, 2016.
- [44] Adrien Goëffon, Frédéric Lardeux, and Frédéric Saubion. Simulating non-stationary operators in search algorithms. *Applied Soft Computing*, 38 :257–268, 2016.
- [45] Olivier Goudet, Béatrice Duval, and Jin-Kao Hao. Population-based gradient descent weight learning for graph coloring problems. *Knowl. Based Syst.*, 212 :106581, 2021.
- [46] Nicolas GUTOWSKI, Tassadit Amghar, Olivier Camp, and Fabien Chhel. Global Versus Individual Accuracy in Contextual Multi-Armed Bandit. In *The 34th*

- ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC '19)*, pages 1647–1654., LIMASSOL, Cyprus, April 2019.
- [47] Nicolas GUTOWSKI, Tassadit Amghar, Olivier Camp, and Fabien Chhel. Gorthaur : A Portfolio Approach for Dynamic Selection of Multi-Armed Bandit Algorithms for Recommendation. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pages 1164–1171, Portland, Oregon, United States, November 2019.
- [48] Nicolas Gutowski, Tassadit Amghar, Olivier Camp, and Fabien Chhel. Gorthaur-EXP3 : Bandit-based selection from a portfolio of recommendation algorithms balancing the accuracy-diversity dilemma. *Information Sciences*, 546 :378–396, February 2021.
- [49] Nicolas GUTOWSKI, Olivier Camp, Tassadit Amghar, and Fabien Chhel. Using Individual Accuracy to Create Context for Non-Contextual Multi-Armed Bandit Problems. In *IEEE Research, Innovation and Vision for the Future*, pages 1–6, Danang, France, March 2019. IEEE.
- [50] Nicolas GUTOWSKI, Olivier Camp, Fabien Chhel, Tassadit Amghar, and Patrick Albers. Improving Bandit-Based Recommendations with Spatial Context Reasoning : An Online Evaluation. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pages 1366–1373, Portland, Oregon, United States, November 2019.
- [51] Youssef Hamadi, Eric Monfroy, and Frédéric Saubion. An Introduction to Autonomous Search. In Hamadi, Y., Monfroy, E., Saubion, and F., editors, *Autonomous Search*, page 11. Springer-Verlag, 2012.
- [52] Pengfei He and Jin-Kao Hao. Iterated two-phase local search for the colored traveling salesmen problem. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 97 :104018, 2021.
- [53] Pengfei He, Jin-Kao Hao, and Qinghua Wu. Grouping memetic search for the colored traveling salesmen problem. *Inf. Sci.*, 570 :689–707, 2021.
- [54] Vincent Hénaux, Adrien Goëffon, and Frederic Saubion. Evolution of Deterministic Hill-climbers. In *2020 IEEE 32nd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pages 564–571, Baltimore, France, November 2020. IEEE.
- [55] Vincent Hénaux, Adrien Goëffon, and Frédéric Saubion. Evolving Fitness Landscapes with Complementary Fitness Functions. In *Artificial Evolution. EA 2019*, pages 110–120. April 2020.
- [56] Vincent Hénaux, Adrien Goëffon, and Frédéric Saubion. From fitness landscapes evolution to automatic local search algorithm generation. *International Transactions in Operational Research*, 20(3) :345–361, September 2021.
- [57] Yan Jin, Jean-Philippe Hamiez, and Jin-Kao Hao. Algorithms for the minimum sum coloring problem : a review. *Artif. Intell. Rev.*, 47(3) :367–394, 2017.
- [58] Yan Jin and Jin-Kao Hao. Effective Learning-Based Hybrid Search for Bandwidth Coloring. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics : Systems*, 45(4)(99) :624–635, 2015.
- [59] Yan Jin and Jin-Kao Hao. Solving the latin square completion problem by memetic graph coloring. *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 23(6) :1015–1028, 2019.
- [60] Yan Jin and Jin-Kao Hao. Solving the Latin Square Completion Problem by

- Memetic Graph Coloring. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 23(6) :1015–1028, December 2019.
- [61] Frédéric Jouault, Valentin Besnard, Théo Le Calvar, Ciprian Teodorov, Matthias Brun, and J. Delatour. Designing, Animating, and Verifying Partial UML Models. In *23rd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2020)*, pages 211–217, Virtual event, Canada, October 2020.
- [62] Diviyan Kalainathan, Olivier Goudet, and Ritik Dutta. Causal Discovery Toolbox : Uncovering causal relationships in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 21 :1–5, March 2020.
- [63] Xiangjing Lai and Jin-Kao Hao. Iterated maxima search for the maximally diverse grouping problem. *Eur. J. Oper. Res.*, 254(3) :780–800, 2016.
- [64] Xiangjing Lai, Jin-Kao Hao, Zhang-Hua Fu, and Dong Yue. Neighborhood decomposition based variable neighborhood search and tabu search for maximally diverse grouping. *Eur. J. Oper. Res.*, 289(3) :1067–1086, 2021.
- [65] Xiangjing Lai, Jin-Kao Hao, and Fred W. Glover. A study of two evolutionary/tabu search approaches for the generalized max-mean dispersion problem. *Expert Syst. Appl.*, 139, 2020.
- [66] Xiangjing Lai, Jin-Kao Hao, and Dong Yue. Two-stage solution-based tabu search for the multidemand multidimensional knapsack problem. *European Journal of Operational Research*, 274(1) :35–48, 2019.
- [67] X.J. Lai and Jin-Kao Hao. Path relinking for the fixed spectrum frequency assignment problem. *Expert Systems with Applications*, 42(10) :4755–4767, 2015.
- [68] Frédéric Lardeux, Jorge Maturana, Eduardo Rodriguez-Tello, and Frédéric Saubion. Migration policies in dynamic island models. *Natural Computing*, 18(1) :pp 163–179, 2019.
- [69] Frédéric Lardeux and Eric Monfroy. From Declarative Set Constraint Models to "Good" SAT Instances. In *Artificial Intelligence and Symbolic Computation*, volume 8884 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 76–87, Seville, Spain, December 2014. Springer.
- [70] Frédéric Lardeux and Eric Monfroy. Expressively Modeling the Social Golfer Problem into SAT. In *International Conference on Computational Science - ICCS 2015*, *Procedia Computer Science*, Reykjavík, Iceland, June 2015. Elsevier. In press.
- [71] Frédéric Lardeux, Éric Monfroy, Eduardo Rodriguez-Tello, Broderick Crawford, and Ricardo Soto. Solving complex problems using model transformations : from set constraint modeling to SAT instance solving. *Expert Systems with Applications*, 149 :113243, July 2020.
- [72] Théo Le Calvar, Fabien Chhel, Frédéric Jouault, and Frédéric Saubion. Toward a Declarative Language to Generate Explorable Sets of Models. In *34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC '19)*, Limassol, Cyprus, April 2019.
- [73] Claire Lefèvre, Christopher Beatrix, Igor Stephan, and Laurent Garcia. ASPeRiX, a first-order forward chaining approach for answer set computing. *Theory and Practice of Logic Programming*, 17(3) :266–310, 2017.
- [74] Claire Lefevre and Pascal Nicolas. The First Version of a New ASP Solver : ASPeRiX. In *10th International Conference*,

- LPNMR 2009*, volume 5753, pages 522 – 527, Potsdam, Germany, 2009. Springer.
- [75] Marc Legeay, Sébastien Aubourg, Jean-Pierre Renou, and Béatrice Duval. Large scale study of anti-sense regulation by differential network analysis. *BMC Systems Biology*, 12(S5) :95, 2018.
- [76] Marc Legeay, Béatrice Duval, and Jean-Pierre Renou. Context-specific co-expression networks to explore the impact of anti-sense transcription. 13th conference on Computational Methods for Systems Biology (CMSB'15), September 2015. Poster.
- [77] Marc Legeay, Béatrice Duval, and Jean-Pierre Renou. Differential Functional Analysis and Change Motifs in Gene Networks to Explore the Role of Anti-sense Transcription. In *Bioinformatics Research and Applications*, pages 117–126. Springer International Publishing, 2016.
- [78] Marc Legeay, Béatrice Duval, and Jean-Pierre Renou. Inference and Differential Analysis of Extended Core Networks : a way to study Anti-Sense Regulation. In *IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, page 1939 p., Shenzhen, China, 2016. IEEE Computer Society.
- [79] Marc Legeay, Béatrice Duval, and Jean-Pierre Renou. Differential Network Analysis of Anti-sense Regulation. In *Bioinformatics and Biomedical Engineering*, volume 10209 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 277–288. Springer International Publishing, 2017.
- [80] Marc Legeay, David Genest, and Stéphane Loiseau. Un langage d'interrogation à la SPARQL pour les graphes conceptuels. In *Extraction et Gestion des Connaissances (EGC 2015)*, In : *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, volume E-28, pages 227–238, Non spécifié, France, 2015. Cépaduès.
- [81] Jules Leguy, Thomas Cauchy, Béatrice Duval, and Benoit Da Mota. Des réseaux de neurones pour prédire des distances interatomiques extraites d'une base de données ouverte de calculs en chimie quantique. In *Extraction et Gestion des connaissances, EGC 2019*, Metz, France, January 2019.
- [82] Jules Leguy, Thomas Cauchy, Marta Glavatskikh, Béatrice Duval, and Benoit Da Mota. EvoMol : a flexible and interpretable evolutionary algorithm for unbiased de novo molecular generation. *Journal of Cheminformatics*, 12(1), December 2020.
- [83] Jules Leguy, Marta Glavatskikh, Thomas Cauchy, and Benoit Da Mota. Scalable estimator of the diversity for de novo molecular generation resulting in a more robust QM dataset (OD9) and a more efficient molecular optimization. *J. Cheminformatics*, 13(1) :76, 2021.
- [84] Charly Lersteau, André Rossi, and Marc Sevaux. Minimum energy target tracking with coverage guarantee in wireless sensor networks. *European Journal of Operational Research*, 265(3) :795–1192, 2017.
- [85] A Letard, T Amghar, O Camp, and N Gutowski. Bandits-Manchots Combinatoires : du retour utilisateur à la recommandation. In *CNIA 2021 : Conférence Nationale en Intelligence Artificielle*, pages pp 52–59, Bordeaux, France, June 2021.
- [86] Alexandre Letard, T Amghar, O Camp, and N Gutowski. Bandit et Semi-Bandit avec Retour Partiel : Une Stratégie d'Optimisation du Retour Utilisateur.

- In *5ème Conférence Nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle (APIA)*, Angers, France, July 2020.
- [87] Alexandre Letard, Tassadit Amghar, Olivier Camp, and Nicolas Gutowski. Partial Bandit and Semi-Bandit : Making the Most Out of Scarce Users' Feedback. In *32th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (IC-TAI)*, 2020.
- [88] Mingjie Li, Jin-Kao Hao, and Qinghua Wu. General swap-based multiple neighborhood adaptive search for the maximum balanced biclique problem. *Comput. Oper. Res.*, 119 :104922, 2020.
- [89] Yinuo Li, Jin-Kao Hao, and Brahim Chabane. User project planning in social and medico-social sector : Models and solution methods. *Expert Syst. Appl.*, 173 :114684, 2021.
- [90] Keqin Liu, Zhi-Ping Liu, Jin-Kao Hao, Luonan Chen, and Xing-Ming Zhao. Identifying dysregulated pathways in cancers from pathway interaction networks. *BMC Bioinform.*, 13 :126, 2012.
- [91] Zhi Lu, Jin-Kao Hao, Una Benlic, and David Lesaint. Iterated multilevel simulated annealing for large-scale graph conductance minimization. *Information Sciences*, 572 :182–199, 2021.
- [92] Zhi Lu, Jin-Kao Hao, and Yi Zhou. Stagnation-aware breakout tabu search for the minimum conductance graph partitioning problem. *Comput. Oper. Res.*, 111 :43–57, 2019.
- [93] Fuda Ma and Jin-Kao Hao. A multiple search operator heuristic for the max-k-cut problem. *Annals of Operations Research*, 248 :365–403, 2017.
- [94] Pierre Maillot, David Genest, Stephane Loiseau, and Thomas Raimbault. Diagnostic pour le maintien de la qualité des bases du Web des données. In *Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle 2016*, Clermont-Ferrand, France, 2016.
- [95] Jorge Maturana, Frédéric Lardeux, and Frédéric Saubion. Autonomous operator management for evolutionary algorithms. *Journal of Heuristics*, 16(6) :881 – 909, 2010.
- [96] Eric Monfroy, Frédéric Lardeux, Broderick Crawford, and Ricardo Soto. Set constraint model and automated encoding into SAT : application to the social golfer problem. *Annals of Operations Research*, 2015.
- [97] Karla Esmeralda Vazquez Ortiz, Jean-Michel Richer, and David Lesaint. Strategies for phylogenetic reconstruction - for the maximum parsimony problem. In James P. Gilbert, Haim Azhari, Hesham H. Ali, Carla Quintão, Jan Sliwa, Carolina Ruiz, Ana L. N. Fred, and Hugo Gamboa, editors, *Proceedings of the 9th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC 2016) - Volume 3 : BIOINFORMATICS, Rome, Italy, February 21-23, 2016*, pages 226–236. SciTePress, 2016.
- [98] Daniel Cosmin Porumbel and Jin-Kao Hao. Distance-guided local search. *Journal of Heuristics*, 26(5) :711–741, October 2020.
- [99] Daniel Cosmin Porumbel, Jin-Kao Hao, and Pascale Kuntz. An efficient algorithm for computing the distance between close partitions. *Discrete Applied Mathematics*, 159(1) :53–59, January 2011.
- [100] Adrian Robert, David Genest, and Stéphane Loiseau. A Query Language for

- Cognitive Maps. In *18th International Conference Artificial Intelligence : Methodology, Systems, and Applications (AIMSA 2018)*, volume 11089 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 218–227, Varna, Bulgaria, 2018.
- [101] Adrian Robert, David Genest, and Stéphane Loiseau. The Taxonomic Cognitive Map Query Language : A General Approach to Analyse Cognitive Maps. In *2018 IEEE 30th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pages 999–1006, Volos, Greece, November 2018. IEEE.
- [102] Adrian Robert, David Genest, and Stéphane Loiseau. Cartes cognitives temporelles. In *Extraction et Gestion des Connaissances (EGC 2020)*, volume E-36 of *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, pages 309–316, Bruxelles, Belgium, 2020.
- [103] Adrian Robert, David Genest, and Stéphane Loiseau. Temporal Cognitive Maps. In *12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, pages 58–68, Valletta, Malta, February 2020. SCITEPRESS - Science and Technology Publications.
- [104] Adrian Robert, David Genest, Stéphane Loiseau, Thomas Raimbault, and Brice Trouillet. Les cartes cognitives temporelles : modélisation et interrogation. In *Extraction et Gestion des Connaissances (EGC 2019)*, volume E-35 of *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, pages 369–370, Metz, France, 2019.
- [105] Wen Sun, Jin-Kao Hao, Yuhao Zang, and Xiangjing Lai. A solution-driven multilevel approach for graph coloring. *Appl. Soft Comput.*, 104 :107174, 2021.
- [106] Sara Tari, Matthieu Basseur, and Adrien Goëffon. Sampled Walk and Binary Fitness Landscapes Exploration. In *International Conference on Artificial Evolution (EA)*, pages 53–64, Paris, France, 2017.
- [107] Sara Tari, Matthieu Basseur, and Adrien Goëffon. An Extended Neighborhood Vision for Hill-climbing Move Strategy Design. In *Recent Developments of Metaheuristics*. 2018.
- [108] Sara Tari, Matthieu Basseur, and Adrien Goëffon. Worst Improvement based Iterated Local Search. In *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation (EvoCOP)*, pages 50–66, Parme, Italy, 2018. Springer.
- [109] Sara Tari, Matthieu Basseur, and Adrien Goëffon. On the Use of $(1,\lambda)$ -Evolution Strategy as Efficient Local Search Mechanism for Discrete Optimization : a Behavioral Analysis. *Natural Computing*, November 2020.
- [110] Dominique Tessier, Sami Laroum, Béatrice Duval, Emma M. Rath, W. Bret Church, and Jin-Kao Hao. In silico evaluation of the influence of the translocon on partitioning of membrane segments. *BMC Bioinform.*, 15 :156, 2014.
- [111] Hugo Traverson, David Genest, and Stéphane Loiseau. Improving Feedbacks for ITS Assessment of Concept Maps. In *30th International Florida Artificial Intelligence Research Society (FLAIRS 2017)*, pages 146–151, Marco Island, United States, 2017. AAAI Press.
- [112] Claudia Vasconcellos-Gaete, Vincent Barichard, and Frédéric Lardeux. On the Use of CSP Semantic Information in SAT Models. In *18th Mexican International Conference on Artificial Intelligence (MICA)*, volume 148 of *Research in Computing Science*, page 127, Xalapa, Mexico, October 2019.

- [113] Claudia Vasconcellos-Gaete, Vincent Barichard, and Frédéric Lardeux. Abacus : A New Hybrid Encoding for SAT Problems. In *2020 IEEE 32nd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, pages 145–152, Baltimore, United States, November 2020. IEEE.
- [114] Wenyu Wang, Jin-Kao Hao, and Qinghua Wu. Tabu search with feasible and infeasible searches for equitable coloring. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 71 :1–14, 2018.
- [115] Zequn Wei and Jin-Kao Hao. Iterated two-phase local search for the set-union knapsack problem. *Future Gener. Comput. Syst.*, 101 :1005–1017, 2019.
- [116] Zequn Wei and Jin-Kao Hao. Multistart solution-based tabu search for the set-union knapsack problem. *Appl. Soft Comput.*, 105 :107260, 2021.
- [117] Xiujun Zhang, Keqin Liu, Zhi-Ping Liu, Béatrice Duval, Jean-Michel Richer, Xing-Ming Zhao, Jin-Kao Hao, and Luonan Chen. NARROMI : a noise and redundancy reduction technique improves accuracy of gene regulatory network inference. *Bioinform.*, 29(1) :106–113, 2013.
- [118] Xiujun Zhang, Xing-Ming Zhao, Kun He, Le Lu, Yongwei Cao, Jingdong Liu, Jin-Kao Hao, Zhi-Ping Liu, and Luonan Chen. Inferring gene regulatory networks from gene expression data by path consistency algorithm based on conditional mutual information. *Bioinform.*, 28(1) :98–104, 2012.
- [119] Qing Zhou, Una Benlic, Qinghua Wu, and Jin-Kao Hao. Heuristic search to the capacitated clustering problem. *European Journal of Operational Research*, 273(2) :464–487, 2019.
- [120] Yangming Zhou, Béatrice Duval, and Jin-Kao Hao. Improving probability learning based local search for graph coloring. *Applied Soft Computing*, 65 :542–553, 2018.
- [121] Yangming Zhou, Jin-Kao Hao, and Béatrice Duval. Reinforcement learning based local search for grouping problems : A case study on graph coloring. *Expert Systems with Applications*, 64 :412–422, 2016.
- [122] Yangming Zhou, Jin-Kao Hao, and Béatrice Duval. Opposition-based Memetic Search for the Maximum Diversity Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 21(5) :731–745, 2017.
- [123] Yangming Zhou, Jin-Kao Hao, and Béatrice Duval. Frequent Pattern Based Search : A case study on the quadratic assignment problem. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics : Systems*, 2020.
- [124] Yangming Zhou, Jin-Kao Hao, Zhang-Hua Fu, Zhe Wang, and Xiangjing Lai. Variable Population Memetic Search : A Case Study on the Critical Node Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2020.
- [125] Yangming Zhou, Jin-Kao Hao, and Fred Glover. Memetic Search for Identifying Critical Nodes in Sparse Graphs. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 49(10) :3699–3712, 2019.