

## ■ Métaheuristiques et Optimisation Combinatoire

LERIA/MOC  
Université d'Angers  
[www.leria.univ-angers.fr](http://www.leria.univ-angers.fr)

**Jin-Kao HAO**

[jin-kao.hao@univ-angers.fr](mailto:jin-kao.hao@univ-angers.fr)

**Frédéric SAUBION**

[frederic.saubion@univ-angers.fr](mailto:frederic.saubion@univ-angers.fr)

### Membres

- Adrien GOËFFON, MCF-HDR
- Jin-Kao HAO, PR
- Jean-Philippe HAMIEZ, MCF
- Jean-Michel RICHER, MCF
- Frédéric SAUBION, PR
- Cyril GRELIER, Doctorant
- Axel GUÉRIN, Doctorant
- Pengfei HE, Doctorant
- Mingjie LI, Doctorant
- Yinuo LI, Doctorant
- Thomas SAOUT, Doctorant
- Youji ZOU, Doctorant

### Autres participants

- Benoît DA MOTA, MCF
- Béatrice DUVAL, PR
- Olivier GOUDET, MCF
- Frédéric LARDEUX, MCF-HDR
- David LESAIN, PR
- Eric MONFROY, PR

### 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 appoint 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 des 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** [47, 57, 64, 72, 37, 38, 35, 48, 54, 71, 44, 58, 70, 20, 42, 46, 31, 8, 22, 19, 18, 21, 45, 59, 81, 43, 50, 49, 75] Les problèmes NP-difficiles, par leur difficulté intrinsèque, constituent une classe de problèmes 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 [9, 10, 33, 24, 62, 63, 77, 76, 78, 79, 80, 51, 7, 32, 13, 34, 29, 36, 60]**

En plus de nos travaux sur les problèmes de références cités ci-dessus, nous avons tra-

vailé 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'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 Transactions 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 [5, 6, 4, 39, 41, 40, 66, 68, 67, 65]** 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 évolutionnaires 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* [30, 74, 56, 2, 73, 1, 52, 61, 3, 69, 23, 17, 12, 16, 11] 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* [14, 15, 55] 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* [26, 25, 53] 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* [28, 27] 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 va-

ludation à l'échelle industrielle a permis de valider cette approche et a mené à un dépôt de brevet.

## 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] 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.
- [5] Matthieu Basseur and Adrien Goëffon. Climbing Combinatorial Fitness Landscapes. *Applied Soft Computing*, pages 688–704, 2015.
- [6] 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.
- [7] Imen Ben Mansour, Matthieu Basseur, and Frédéric Saubion. A Multi-population Algorithm for Multi-Objective Knapsack

- problem. *Applied Soft Computing*, 70 :814–825, 2018.
- [8] 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.
- [9] Una Benlic and Jin-Kao Hao. Breakout Local Search for maximum clique problems. *Computers & Operations Research*, 40(1) :192–206, January 2013.
- [10] Una Benlic and Jin-Kao Hao. Breakout local search for the quadratic assignment problem. *Applied Mathematics and Computation*, 219(9) :4800–4815, January 2013.
- [11] 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.
- [12] 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 <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 92(13) :8793–8801, June 2020.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Yuning Chen and Jin-Kao Hao. An iterated "hyperplane exploration" approach for the quadratic knapsack problem. *Comput. Oper. Res.*, 77 :226–239, 2017.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Béatrice Duval and Jin-Kao Hao. Advances in metaheuristics for gene selection and classification of microarray data. *Briefings Bioinform.*, 11(1) :127–141, 2010.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Fred Glover and Jin-Kao Hao. f-Flip strategies for unconstrained binary quadratic programming. *Annals of Operations Research*, 238(1) :651–657, 2016.
- [34] Adrien Goëffon, Frédéric Lardeux, and Frédéric Saubion. Simulating non-stationary operators in search algorithms. *Applied Soft Computing*, 38 :257–268, 2016.
- [35] Olivier Goudet, Béatrice Duval, and Jin-Kao Hao. Population-based gradient descent weight learning for graph coloring problems. *Knowl. Based Syst.*, 212 :106581, 2021.
- [36] 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.

- [37] Pengfei He and Jin-Kao Hao. Iterated two-phase local search for the colored traveling salesmen problem. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 97 :104018, 2021.
- [38] Pengfei He, Jin-Kao Hao, and Qinghua Wu. Grouping memetic search for the colored traveling salesmen problem. *Inf. Sci.*, 570 :689–707, 2021.
- [39] Vincent Hénaux, Adrien Goëffon, and Frédéric 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.
- [40] Vincent Hénaux, Adrien Goëffon, and Frédéric Saubion. Evolving Fitness Landscapes with Complementary Fitness Functions. In *Artificial Evolution. EA 2019*, pages 110–120. April 2020.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] Xiangjing Lai and Jin-Kao Hao. Iterated maxima search for the maximally diverse grouping problem. *Eur. J. Oper. Res.*, 254(3) :780–800, 2016.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Frédéric Lardeux, Jorge Maturana, Eduardo Rodriguez-Tello, and Frédéric Saubion. Migration policies in dynamic island models. *Natural Computing*, 18(1) :pp 163–179, 2019.
- [52] 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.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] Jorge Maturana, Frédéric Lardeux, and Frédéric Saubion. Autonomous operator management for evolutionary algorithms. *Journal of Heuristics*, 16(6) :881 – 909, 2010.
- [61] 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 : BIO-INFORMATICS, Rome, Italy, February 21-23, 2016*, pages 226–236. SciTePress, 2016.
- [62] Daniel Cosmin Porumbel and Jin-Kao Hao. Distance-guided local search. *Journal of Heuristics*, 26(5) :711–741, October 2020.
- [63] 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.
- [64] Wen Sun, Jin-Kao Hao, Yuhao Zang, and Xiangjing Lai. A solution-driven multilevel approach for graph coloring. *Appl. Soft Comput.*, 104 :107174, 2021.
- [65] 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.
- [66] Sara Tari, Matthieu Basseur, and Adrien Goëffon. An Extended Neighborhood Vision for Hill-climbing Move Strategy Design. In *Recent Developments of Metaheuristics*. 2018.
- [67] 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.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] Zequn Wei and Jin-Kao Hao. Multistart solution-based tabu search for the set-union knapsack problem. *Appl. Soft Comput.*, 105 :107260, 2021.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] Yangming Zhou, Béatrice Duval, and Jin-Kao Hao. Improving probability learning based local search for graph coloring. *Applied Soft Computing*, 65 :542–553, 2018.
- [77] 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.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] 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.
- [81] 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.