

# Algorithme mémétique avec sélection automatique d'opérateurs pour la coloration de graphe

Cyril Grelier, Olivier Goudet, Jin-Kao Hao

LERIA, Université d'Angers - 2 Boulevard Lavoisier, Angers, 49045, France  
{cyril.grelier,olivier.goudet,jin-kao.hao}@univ-angers.fr

**Mots-clés :** algorithmes mémétiques, hyperheuristiques,  $k$ -coloration, WVCP

## 1 Introduction

La coloration de graphe est un problème d'optimisation bien connu consistant à colorer les sommets d'un graphe de telle sorte que deux sommets adjacents ne reçoivent pas la même couleur. Il existe de nombreuses déclinaisons de ce problème. Dans ce travail, nous étudions le problème de décision qui consiste à vérifier s'il existe une solution de coloration légale d'un graphe utilisant au plus  $k$  couleurs ( $k$ -coloration), ainsi que le problème de coloration pondéré WVCP (*Weighted Vertex Coloring Problem*), qui consiste à trouver une solution légale d'un graphe pondéré, qui minimise la somme des sommets les plus lourds de chaque classe de couleur.

Dans la littérature, il existe de nombreux algorithmes exacts et approchés pour résoudre ces problèmes. Nous référons le lecteur à [1]. Pour la  $k$ -coloration, des algorithmes mémétiques récents ont été proposés [3, 6]. Pour le WVCP, l'état de l'art est plus restreint, avec principalement des recherches locales [7, 8, 9] et un arbre de recherche de Monte Carlo [4].

## 2 Algorithme mémétique adaptatif

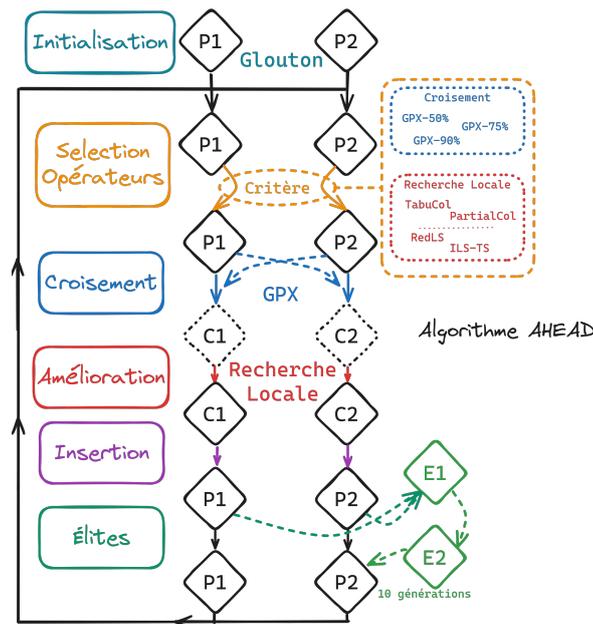


FIG. 1 – Architecture générale de l'algorithme AHEAD.

Dans ce travail, nous avons choisi comme point de départ l’algorithme mémétique HEAD [6] très performant pour la  $k$ -coloration. HEAD est une variante de HEA [2] et utilise une population composée seulement de deux individus  $S_1$  et  $S_2$ . HEAD alterne des phases de croisement avec GPX [2] et de recherche locale avec TabuCol [5]. Pour réintroduire continuellement de la diversité dans cette très petite population, HEAD utilise un mécanisme de réintégration des meilleurs individus (élites  $E_1$  et  $E_2$ ) trouvés plus tôt pendant la recherche.

L’algorithme AHEAD (*Adaptive* HEAD, voir Figure 1) proposé dans ce travail est une adaptation de HEAD auquel nous ajoutons un sélecteur d’opérateurs automatique pour déterminer de façon adaptative le couple (croisement, recherche locale) à appliquer à chaque génération de l’algorithme. Ce choix des opérateurs est effectué à l’aide d’une stratégie de sélection fondée sur l’apprentissage en termes des résultats obtenus par les différents opérateurs de bas niveau appliqués durant la résolution d’une instance.

Nous examinons les effets de six politiques de sélection d’opérateurs de différents niveaux de complexité : un sélecteur aléatoire, quatre critères de sélection basées sur la *fitness* des solutions obtenues (Deleter, Roulette, Pursuit, UCB), ainsi qu’un réseau de neurones qui prend en entrée l’état brut des individus de la population.

### 3 Expérimentations

Nous avons testé AHEAD sur des instances de la littérature (DIMACS) les plus difficiles. La méthode a permis à la fois d’améliorer les résultats de HEAD [6] pour une partie des instances testés, mais aussi de trouver une nouvelle coloration avec 404 couleurs pour la grande instance C2000.9, ainsi que de nouveaux scores pour trois instances difficiles du WVCP.

### Références

- [1] Philippe Galinier, Jean-Philippe Hamiez, Jin-Kao Hao, and Daniel Porumbel. Recent advances in graph vertex coloring. *Handbook of Optimization : From Classical to Modern Approach*, pages 505–528, 2013.
- [2] Philippe Galinier and Jin-Kao Hao. Hybrid evolutionary algorithms for graph coloring. *Journal of Combinatorial Optimization*, 3 :379–397, 1999.
- [3] Olivier Goudet, Cyril Grelier, and Jin-Kao Hao. A deep learning guided memetic framework for graph coloring problems. *Knowledge-Based Systems*, 258 :109986, 2022.
- [4] Cyril Grelier, Olivier Goudet, and Jin-Kao Hao. Monte carlo tree search with adaptive simulation : A case study on weighted vertex coloring. In *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (Part of EvoStar)*, pages 98–113. Springer, 2023.
- [5] Alain Hertz and D de Werra. Using tabu search techniques for graph coloring. *Computing*, 39(4) :345–351, 1987.
- [6] Laurent Moalic and Alexandre Gondran. Variations on memetic algorithms for graph coloring problems. *Journal of Heuristics*, 24 :1–24, 2018.
- [7] Bruno Nogueira, Eduardo Tavares, and Paulo Maciel. Iterated local search with tabu search for the weighted vertex coloring problem. *Computers & Operations Research*, 125 :105087, 2021.
- [8] Wen Sun, Jin-Kao Hao, Xiangjing Lai, and Qinghua Wu. Adaptive feasible and infeasible tabu search for weighted vertex coloring. *Information Sciences*, 466 :203–219, 2018.
- [9] Yiyuan Wang, Shaowei Cai, Shiwei Pan, Ximing Li, and Monghao Yin. Reduction and local search for weighted graph coloring problem. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, volume 34, pages 2433–2441, 2020.