

# TP 4 : QAOA

UE Informatique quantique et Recherche opérationnelle  
Module 2 : Algorithmes quantiques pour la recherche opérationnelle

Décembre 2023

ENSIE, C. Grange

Tout au long du TP, les questions à faire sur papier sont précédées du symbole †.

Compétences acquises à la fin du TP :

- Savoir utiliser l'algorithme précodeur QAOA proposé dans la librairie Qiskit
- Coder son propre QAOA
- Reformuler un problèmes pour qu'il soit éligible à une résolution par QAOA

**Exercice 1** (Application du cours : Max-Cut).

Soit le graphe  $G = (V, E)$  suivant, représenté Figure 1, où

- $V = [1, \dots, 5]$
- $E = [(1, 2), (1, 3), (2, 3), (3, 4), (4, 5)]$

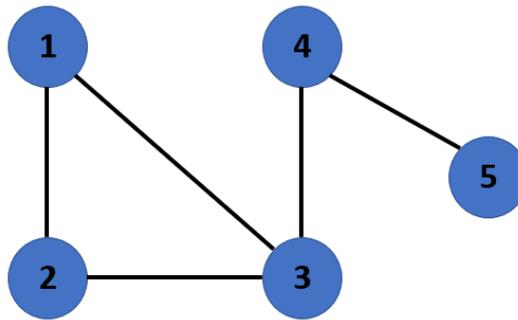


Figure 1: Graphe  $G$ .

Résoudre le problème Max-Cut associé à ce graphe avec l'algorithme QAOA précodeur par qiskit. Vous pourrez utiliser COBYLA comme solveur d'optimisation classique. Faire varier la profondeur  $p$  et interpréter les résultats.

**Exercice 2** (Problème de couverture par ensembles).

Nous allons nous intéresser à la reformulation du problème de couverture par ensembles afin qu'il soit éligible (et résolu) par QAOA.

1. Modéliser le problème de couverture par ensembles.
2. Intégrer les contraintes dans la fonction objectif comme des termes de pénalité afin de le transformer en problème QUBO.
3. Ecrire l'Hamiltonien associé.
4. Résoudre ce problème avec QAOA pour l'instance du graphe Figure 1 où : les arêtes sont les éléments, les sommets sont les ensembles, et où les ensembles contiennent les éléments qui sont les arêtes partants du sommet considéré.

**Exercice 3** (Vertex Cover). Nous étudions le problème de couverture par les sommets (cf TP Grover, Exercice 6). Résoudre ce problème avec QAOA pour le graphe de la Figure 1.

**Exercice 4** (Codage de QAOA).

*Codez votre propre QAOA ! Prenez en entrée un Hamiltonien. Commencez sans boucle d'optimisation, en codant l'exécution du circuit quantique pour des paramètres donnés. Rajoutez la boucle d'optimisation ensuite.*

*Pour vous convaincre de la validité du théorème adiabatique, vous pouvez faire tourner QAOA sans la boucle d'optimisation en faisant varier les paramètres linéairement pour un très grand  $p$ .*

Si vous êtes curieux, vous pouvez utiliser la machine D-Wave pour résoudre les mêmes types de problèmes formulés en QUBO !