



Offre n°2025-08662

**Doctorant F/H [Allocation Région 2025]
Vers des optimiseurs variationnels
multiobjectifs à utilité quantique (F/H)**

Type de contrat : CDD

Niveau de diplôme exigé : Bac + 5 ou équivalent

Fonction : Doctorant

A propos du centre ou de la direction fonctionnelle

Le centre Inria de l'Université de Lille, créé en 2008, emploie 360 personnes dont 305 scientifiques répartis dans 15 équipes de recherche. Reconnu pour sa forte implication dans le développement socio-économique de la région des Hauts-De-France, le centre Inria de l'Université de Lille entretient des relations étroites avec les grandes entreprises et les PME. En favorisant les synergies entre chercheurs et industriels, Inria participe au transfert de compétences et d'expertise dans le domaine des technologies numériques et donne accès au meilleur de la recherche européenne et internationale au bénéfice de l'innovation et des entreprises, notamment dans la région.

Depuis plus de 10 ans, le centre Inria de l'Université de Lille est situé au cœur de l'écosystème universitaire et scientifique lillois, ainsi qu'au cœur de la Frenchtech, avec un showroom technologique basé avenue de Bretagne à Lille, sur le site d'excellence économique EuraTechnologies dédié aux technologies de l'information et de la communication (TIC).

Contexte et atouts du poste

La thèse de doctorat sera menée sous la co-direction de Dr Z.A. Dahi (ISFP, Inria Starting Faculty Position) et de Prof. Bilel Derbel. Les deux encadrants font partie

de l'équipe projet BONUS au sein du centre Inria de l'Université de Lille. L'équipe BONUS est spécialisée dans la résolution de grands problèmes d'optimisation, ce qui offre un environnement idéal pour la réalisation du doctorat et des travaux de recherche associés.

Mission confiée

Le paradigme de l'informatique quantique est basé sur la mécanique quantique lui permettant une accélération des calculs par rapport à son homologue classique. La résolution de problèmes d'optimisation est l'un des principaux domaines où cela pourrait apporter des avancées. Les Algorithmes Quantiques Variationnels (AQV) constituent une classe d'optimiseurs quantiques capables d'offrir une efficacité prometteuse malgré la nature limitée et bruitée des machines quantiques. Initialement, les AQV ont été conçus pour résoudre des problèmes à objectif unique, bien que les scénarios de la vie réelle exigent d'en traiter plusieurs simultanément. Ainsi, l'extension de cette classe d'algorithmes aux problèmes multi-objectifs est un défi primordial pour une application réaliste et un éventuel avantage quantique. Jusqu'à présent, seuls quelques efforts ont été déployés pour concevoir des contreparties Multi-Objectifs des AQV (AQV-MO). En outre, la littérature limitée qui a tenté de le faire présente des lacunes qui empêchent l'applicabilité et l'efficacité de ces propositions.

Cette thèse vise (I) à corriger les limitations des travaux précédents et (II) à repousser la recherche sur les AQV-MO au-delà de l'état actuel des connaissances en explorant des approches pas encore étudiées auparavant. Le principal défi dans les deux cas est de concevoir des AQV-MO utiles, réalisables, exempts d'erreurs et efficaces compte tenu de la nature bruitée et limitée des machines quantiques actuelles.

Principales activités

Scope

L'informatique quantique est un paradigme informatique qui s'appuie sur des principes de la mécanique quantique (par exemple l'interférence, la superposition d'états, etc.) [1]. Cela lui confère une vitesse de calcul supérieure à celle de son homologue classique. Cette accélération des calculs s'avère utile à plusieurs égards, notamment pour la résolution de problèmes d'optimisation [2]. En ce qui concerne ce dernier, certains algorithmes quantiques prometteurs ont déjà été proposés dans le cadre de plusieurs paradigmes de calcul quantique, tels que le recuit quantique et l'informatique quantique basés sur des portes discrètes. La présente proposition se concentre sur le second type d'algorithme, compte tenu de son champ d'application plus large et de l'intérêt qu'il suscite par les industriels (par exemple, Google, Microsoft, IBM, etc.). Ceci étant dit, la nature bruitée et les capacités limitées des machines quantiques à portes actuelles rendent l'application de la plupart d'entre elles très délicate, voire impossible. Les Algorithmes Quantiques Variationnels

(AQV) [3] constituent l'une des classes d'algorithmes quantiques qui peuvent encore garantir une efficacité prometteuse dans un tel contexte de limitation et de bruit. Ce sont des solveurs hybrides quantique-classique, qui résolvent l'hamiltonien des problèmes à l'aide d'un ansatz paramétrable. La plupart des AQV ont été conçus pour résoudre des problèmes d'optimisation à objectif unique. Cependant, les scénarios réalistes incluent, en général, le traitement de plusieurs objectifs d'optimisation conflictuels, connus sous le nom de Problèmes Multi-Objectifs (PMO) [4]. Dans cette catégorie de problèmes, l'objectif est de trouver un ensemble de solutions également efficaces. Ces derniers constituent un ensemble de fronts soumis à certains critères de dominance qui prennent en compte toutes les fonctions objectives du PMO. La conception d'un équivalent multi-objectif des AQV pour traiter cette classe de problèmes est primordiale pour faire avancer la recherche sur la résolution des PMO, ainsi que l'applicabilité des AQV, et éventuellement ouvrir la voie à un avantage quantique potentiel, voire à la suprématie. Au cours des dix dernières années, seuls quelques travaux ont tenté de concevoir un AQV capable de résoudre les PMOs [5, 6]. Ces travaux ont souffert d'un ensemble de lacunes de conception et d'implémentation qui ont rendu ces propositions inefficaces, voire irréalisables. Sur le plan de la conception, ces travaux s'appuient sur une décomposition triviale de la somme pondérée conçue avec des fonctions de pénalité sous-optimales et incapables de traiter des fronts de Pareto particuliers tels que les fronts non-convexes. Du point de vue de la valeur d'espérance, les auteurs considèrent l'hypervolume, bien qu'il présente plusieurs inconvénients par rapport à d'autres mesures telles que la distance générationnelle inversée et sa variante (par exemple, coût de calcul élevé, sélection du point nadir, etc.). En outre, l'hamiltonien du problème utilisé présente un nombre de paramètres d'ansatz linéairement plus complexe et il n'est pas certain qu'il remonte au recuit quantique. Finalement, la dominance est extraite dans la partie classique des AQV avec une complexité quadratique. D'un point de vue implémentation, l'un de ces travaux utilise des qubits, ce qui est exponentiellement plus coûteux à simuler, alors que les machines réelles ne sont pas disponibles et sont moins matures que les systèmes basés sur des qubits. En outre, la conception des propositions ne tient pas compte de l'augmentation exponentielle de la mémoire de simulation proportionnelle à la taille du problème, ni des longues files d'attente lors de l'utilisation d'ordinateurs quantiques réels. Compte tenu de ces faits, un troisième et dernier travail dans [2] réalisé par les encadrants de cette proposition de doctorat a résolu les problèmes susmentionnés en concevant une AQV-MO distribuée utilisant une scalarisation à somme pondérée corrigée par pénalité, ainsi qu'en proposant une approximation mathématique et algorithmique de la scalarisation de Tchebycheff. Ceci étant dit, le travail souffre encore de lacunes importantes. (I) L'approximation mathématique de Tchebycheff peut s'avérer délicate, voire impossible à appliquer lorsque le comportement de l'extrémité du radican n'est pas croissant ou positif. (II) D'autres méthodes de scalarisation robustes existent dans la littérature et pourraient conduire à des solutions plus efficaces. (III) Les méthodes basées sur la scalarisation sont coûteuses et dépendent des paramètres de scalarisation. (IV) Le calcul de la non-dominance se fait classiquement en un temps quadratique, ce qui nécessite une interaction quantique-classique pénalisante sur le plan informatique.

Objectifs

L'objectif de cette proposition est de faire progresser la recherche sur la conception d'optimiseurs AQV-MO quantiques qui soient utiles et pratiques malgré l'état limite par le bruit des ordinateurs quantiques d'aujourd'hui et la conception des AQV. Cette proposition vise à atteindre cet objectif en (I) résolvant/améliorant les résultats de la littérature précédente, et en (II) recherchant des voies jamais explorées auparavant. Concrètement, nous nous concentrerons sur (I) le traitement efficace de la nature multi-objectif des problèmes en tenant compte des caractéristiques de l'informatique quantique et des AQV, et (II) la recherche de toute accélération possible du calcul en exploitant à la fois les parties classiques et quantiques des AQV, en particulier parce qu'il n'est pas toujours évident de déterminer où le calcul quantique peut être plus performant que le calcul classique. Concrètement, cela se traduira en implémentant trois grands objectifs. O1 : un AQV-MO basé sur la scalarisation, O2 : un AQV-MO dépourvu de scalarisation, et O3: un AQV-MO avec dominance quantique.

1. AQV-MO basé sur la scalarisation (O1): Cette première partie s'inscrit dans la continuité du travail effectué par les superviseurs dans [2], en (I) améliorant la formulation mathématique de la scalarisation de Tchebycheff, plus particulièrement en trouvant une alternative mathématique qui permet d'aborder les polynômes non positifs. Le second objectif est d'explorer d'autres techniques de scalarisation plus robustes, en concevant leur équivalent quantique, capable de fonctionner sur des ordinateurs quantiques. L'accélération des calculs sera recherchée en tirant parti de l'accélération fournie par les paradigmes de parallélisme classique en utilisant plusieurs simulateurs quantiques et éventuellement des ordinateurs quantiques de manière classique où le parallélisme ne sera pas fourni par la recherche quantique, mais plutôt par le nombre de machines/simulateurs quantiques utilisés. Cette première partie est considérée comme peu risquée et plus adéquate pour introduire le/la doctorant(e) au contexte nécessaire pour entreprendre des parties plus avancées dans les années restantes de sa thèse.
2. AQV-MO sans scalarisation (O2): L'efficacité de la résolution d'un problème multi-objectif par scalarisation dépend du type et des paramètres de la décomposition utilisée, ce qui n'est pas trivial et nécessite des ressources de calcul substantielles selon le parallélisme classique utilisé dans la première partie [2]. Ainsi, la deuxième partie/année tentera de développer un AQV-MO quantique qui permet de supprimer le besoin de scalarisation. À terme, cela supprimera le besoin de plusieurs machines quantiques ou simulateurs pour surmonter la complexité de calcul induite par un grand nombre de points de scalarisation, d'autant plus que les ordinateurs quantiques d'aujourd'hui sont bruités avec des accès en file d'attente et en temps de latence. D'un point de vue quantique, le défi consiste à construire un ansatz quantique qui puisse être tolérant aux fautes et mathématiquement solide en ce qui concerne la nature multi-objective du problème, et (II) si possible, assurer un avantage quantique tel que l'optimalité de la solution ou l'accélération du calcul.
3. AQV-MO basé sur la dominance quantique (O3): L'optimisation multi-objectif traite plusieurs objectifs en même temps. Comme les algorithmes sont élitistes et ne recherchent que les meilleures solutions, le concept de

dominance est primordial pour discriminer ces solutions, et est inévitable pendant la résolution de tels problèmes. Cependant, l'extraction du front des meilleures solutions non dominées nécessite une complexité en temps qui est quadratique en fonction du nombre d'objectifs et de solutions et est généralement effectuée de manière classique dans la littérature des AQV-MO. Cette partie se concentrera sur (I) la conception d'une heuristique quantique qui peut être utilisée dans les AQV afin d'effectuer cette tâche de manière quantique et donc de réduire l'interaction quantique-classique de la machine qui pourrait induire plusieurs inconvénients et l'infaisabilité du calcul (par exemple, la perte d'accélération, la latence, etc.) Enfin, l'objectif est de réduire, si possible, la complexité temporelle quadratique du calcul de la non-dominance afin d'obtenir une certaine accélération quantique dans ce sens.

Bibliographie

- [1] Zakaria Abdelmoiz Dahi, Chaker Mezioud, Amer Draa: A quantum-inspired genetic algorithm for solving the antenna positioning problem. *Swarm Evol. Comput.* 31: 24-63 (2016)
- [2] Zakaria Abdelmoiz Dahi, Francisco Chicano, Gabriel Luque, Bilel Derbel, and Enrique Alba. Scalable quantum approximate optimiser for pseudo-boolean multi-objective optimisation. In *Parallel Problem Solving from Nature*, pages 268–284. Springer, 2024
- [3] E. Farhi, J. Goldstone, and S. Gutmann. A quantum approximate optimization algorithm, 2014.
- [4] José Á. Morell, Zakaria Abdelmoiz Dahi, Francisco Chicano, Gabriel Luque, Enrique Alba: A multi-objective approach for communication reduction in federated learning under devices heterogeneity constraints. *Future Gener. Comput. Syst.* 155: 367-383 (2024)
- [5] S.-H. Chiew, K. Poirier, R. Mishra, U. Bornheimer, E. Munro, S. H. Foon, C. W. Chen, W. S. Lim, and C. W. Nga. Multiobjective optimization and network routing with near-term quantum computers, 2024
- [6] L. Ekstrom, H. Wang, and S. Schmitt. Variational quantum multi-objective optimization, 2024.

Compétences

Compétences/connaissance recherchées : optimisation combinatoire, optimisation multi-objectif, calcul parallèle, modélisation mathématique, algorithmes de recherche heuristiques, compétences en informatique et en programmation requises

Avantages

- Restauration subventionnée
- Transports publics remboursés partiellement
- Congés: 7 semaines de congés annuels + 10 jours de RTT (base temps plein) + possibilité d'autorisations d'absence exceptionnelle (ex : enfants malades, déménagement)
- Possibilité de télétravail et aménagement du temps de travail
- Équipements professionnels à disposition (visioconférence, prêts de matériels informatiques, etc.)
- Prestations sociales, culturelles et sportives (Association de gestion des œuvres sociales d'Inria)
- Accès à la formation professionnelle
- Sécurité sociale

Rémunération

2200 € bruts mensuels entre octobre et décembre 2025

2300 € bruts mensuels à partir du 1er janvier 2026

Informations générales

- **Thème/Domaine** : Optimisation, apprentissage et méthodes statistiques
- **Ville** : Lille
- **Centre Inria** : [Centre Inria de l'Université de Lille](#)
- **Date de prise de fonction souhaitée** : 2025-10-01
- **Durée de contrat** : 3 ans
- **Date limite pour postuler** : 2025-04-20

Contacts

- **Équipe Inria** : [BONUS](#)
- **Directeur de thèse** :
Derbel Bilel / Bilel.Derbel@inria.fr

A propos d'Inria

Inria est l'institut national de recherche dédié aux sciences et technologies du numérique. Il emploie 2600 personnes. Ses 215 équipes-projets agiles, en général communes avec des partenaires académiques, impliquent plus de 3900 scientifiques

pour relever les défis du numérique, souvent à l'interface d'autres disciplines. L'institut fait appel à de nombreux talents dans plus d'une quarantaine de métiers différents. 900 personnels d'appui à la recherche et à l'innovation contribuent à faire émerger et grandir des projets scientifiques ou entrepreneuriaux qui impactent le monde. Inria travaille avec de nombreuses entreprises et a accompagné la création de plus de 200 start-up. L'institut s'efforce ainsi de répondre aux enjeux de la transformation numérique de la science, de la société et de l'économie.

L'essentiel pour réussir

Le (la) candidat(e) devra démontrer des qualités de communication et d'organisation, ainsi qu'une motivation à évoluer dans un environnement de recherche d'excellence porté vers l'international.

Attention: Les candidatures doivent être déposées en ligne sur le site Inria. Le traitement des candidatures adressées par d'autres canaux n'est pas garanti.

Consignes pour postuler

Merci d'envoyer votre CV et lettre de motivation.

Pour toutes questions, vous pouvez contacter Zakaria Abdelmoiz DAHI, co-encadreur de la thèse, à abdelmoiz-zakaria.dahi@inria.fr

Sécurité défense :

Ce poste est susceptible d'être affecté dans une zone à régime restrictif (ZRR), telle que définie dans le décret n°2011-1425 relatif à la protection du potentiel scientifique et technique de la nation (PPST). L'autorisation d'accès à une zone est délivrée par le chef d'établissement, après avis ministériel favorable, tel que défini dans l'arrêté du 03 juillet 2012, relatif à la PPST. Un avis ministériel défavorable pour un poste affecté dans une ZRR aurait pour conséquence l'annulation du recrutement.

Politique de recrutement :

Dans le cadre de sa politique diversité, tous les postes Inria sont accessibles aux personnes en situation de handicap.