

# Project Outline: Quantum Option Pricing

## 1. Contexte général et motivation

La valorisation d'options financières constitue un pilier de la finance quantitative, traditionnellement abordée par des modèles stochastiques et des méthodes numériques (comme Monte Carlo ou les PDEs). Les avancées de l'informatique quantique ouvrent la voie à des méthodes capables de réduire la complexité de ces calculs, en particulier via l'estimation d'amplitude quantique (QAE).

Dans cette perspective, ce projet vise à développer et analyser une chaîne complète de *quantum option pricing*, depuis les fondements théoriques jusqu'aux implémentations numériques.

## 2. Objectifs scientifiques

- Maîtriser les modèles classiques de valorisation (Black-Scholes, Heston) ainsi que les méthodes Monte Carlo.
- Étudier les principes essentiels des algorithmes quantiques utiles pour la finance : préparation d'états, QAE, QPE, variational methods.
- Implémenter un pipeline quantique complet pour la valorisation d'options européennes.
- Comparer de manière quantitative les performances classiques et quantiques en termes de précision, complexité et ressources.

## 3. Questions de recherche

1. Quels sont les scénarios pour lesquels QAE offre un avantage significatif ?
2. Comment traiter le problème du *state loading*, identifié comme une difficulté majeure dans la littérature récente:contentReference[oaicite:3]index=3 ?
3. Comment les limitations du hardware NISQ influencent-elles la faisabilité des algorithmes financiers (bruit, profondeur, connectivité) ?
4. Quels types d'options (vanilla, exotiques, multi-actifs) sont les plus adaptés à une approche quantique ?

## 4. Méthodologie

1. **Étude théorique** : modèles stochastiques, équations de valorisation, concepts de quantum computing (superposition, intrication, circuits unitaires).
2. **Conception algorithmique** : préparation d'états lognormaux, encodeurs de payoff, implémentation de QAE et variantes.

3. **Implémentation numérique** : Python + Qiskit/Cirq ; simulateur puis hardware NISQ.
4. **Analyse** : comparaison Monte Carlo classique vs quantum Monte Carlo, analyse d'erreurs, scalabilité.
5. **Synthèse finale** : rapport détaillé et présentation.

## 5. Organisation du travail

- Réunions hebdomadaires de suivi scientifique.
- Livrables intermédiaires : revue bibliographique, cahier algorithmique, premiers codes.
- Livrable final : rapport complet + code annexe + analyse comparative.

## 6. Literature Review (intégrant les trois références principales)

La littérature récente fournit trois synthèses majeures servant de fondement à ce projet :

(1) **Gómez et al. (2022) : *A Survey on Quantum Computational Finance for Derivatives Pricing and VaR*** Cette revue offre une analyse détaillée des méthodes quantiques pour la valorisation de dérivés et le calcul de VaR:contentReference[oaicite:4]index=4. Elle est particulièrement pertinente pour :

- la structure générale des approches quantiques de Monte Carlo,
- l'analyse des difficultés pratiques (state preparation, circuits profonds),
- la comparaison des méthodes PDE/Monte Carlo/quantum.

Elle constitue ainsi une base théorique directe pour notre pipeline de valorisation.

(2) **Orús et al. (2019) : *Quantum Computing for Finance: Overview and Prospects*** Cet article propose une vue d'ensemble du domaine, incluant optimisation, QML et QAE pour applications financières:contentReference[oaicite:5]index=5. Il est particulièrement utile pour :

- situer le pricing quantique dans l'écosystème global des applications financières,
- comprendre les liens entre optimisation, machine learning et Monte Carlo quantique,
- introduire les arguments sur les gains attendus et leurs limites.

**(3) Herman et al. (2022) : *A Survey of Quantum Computing for Finance*** Cette synthèse très complète couvre un spectre large des algorithmes quantiques applicables à la finance (QAE, optimisation, QML) ainsi que leur implémentation réelle sur hardware NISQ:contentReference[oaicite:6]index=6. Contribution clé :

- cartographie des use cases financiers alignés avec les capacités actuelles du hardware,
- analyse critique des goulots d'étranglement (bruit, depth, data loading),
- section détaillée sur quantum Monte Carlo pour le pricing.

## 7. Plan d'action indicatif

1. S1–S2 : étude des modèles classiques et revue de littérature approfondie.
2. S3–S4 : reproduction d'algorithmes quantiques standards (QPE, QAE).
3. S5–S7 : implémentation du circuit complet de pricing quantique.
4. S8–S9 : analyse numérique, benchmarks, comparaison.
5. S10–S12 : rédaction du rapport et soutenance.

## 8. Résultats attendus

- Implémentation fonctionnelle d'un algorithme quantique de pricing.
- Évaluation quantitative de l'avantage potentiel de QAE.
- Analyse critique des limitations du hardware NISQ.
- Synthèse académique structurée et reproductible.