

QWATCH

START404

TOGETHER, ENSEMBLE

D'ici 15 ans, en quoi la technologie
quantique va transformer le monde de la
finance ?

BOURON Nicolas
GAULTIER Pierre-Louis
PERRIN Paul
SULER François
SCHÄFER Théo

8 mai 2021



Table des matières

1	Introduction	2
2	Promesses de l'informatique quantique dans le monde de la finance	2
3	Mise en œuvre technique	2
3.1	Application de l'apprentissage par la machine	2
3.2	Application de l'algorithme quantique	4
4	Limites et défis actuels de la technologie quantique	7
5	Conclusion	7
5.1	Utilisation de la technologie quantique à d'autres problèmes des FinTech	7
5.2	Bilan de l'étude	7
6	Références	9

Table des figures

1	Schéma du réseau neuronal implémenté	3
2	Architecture d'un neurone	4
3	Algorithme HHL	4
4	QPE algorithm	5
5	Rendu de l'algorithme HHL sur IBM quantum Lab	6
6	Histogramme des résultats de l'algorithme HHL sur IBM quantum Lab	6

Liste des tableaux

1	Résultats de simulation de résolution d'un système d'équations linéaires	6
---	--	---

1 Introduction

Depuis de nombreuses années, le monde de la finance est en proie à une course technologique afin de répondre aux défis toujours plus importants du numérique. La technologie quantique, quant à elle, en est encore à ses débuts bien que extrêmement prometteuse.

Nous sommes alors amenés à nous poser la question suivante : d'ici 15 ans, en quoi la technologie quantique va transformer le monde de la finance ?

2 Promesses de l'informatique quantique dans le monde de la finance

En 2018, le montant de la fraude bancaire a atteint 538 millions d'euros en France. Les escroqueries et infractions économiques et financières ont fortement augmenté ces dernières années, favorisées par l'émergence du numérique dans le secteur bancaire. Force est de constater qu'une gestion inadaptée de la fraude peut avoir des conséquences extrêmement dommageables : impacts financiers d'une transaction frauduleuse non détectée, impacts d'image et de confiance client, impacts opérationnels (cellule de traitement de la fraude, gestion de crise...).

C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier les algorithmes de détection de fraudes bancaires basées sur l'exploitation du machine learning avec QWATCH : Quantum watch. En fournissant un grand nombre de données pertinentes sur les habitudes des clients quant à leur rapport avec la banque, il est possible de détecter des anomalies lors de certaines transactions là où les méthodes traditionnelles échouent. L'ordinateur quantique permettra d'accélérer ces algorithmes de manière exponentielle par rapport à un ordinateur classique, permettant une détection plus fine et exhaustive des fraudes bancaires. Cette prouesse pourra être réalisée par l'intervention de l'algorithme HHL, permettant à un ordinateur quantique de résoudre des systèmes linéaires exponentiellement plus rapidement qu'un ordinateur classique.

3 Mise en œuvre technique

3.1 Application de l'apprentissage par la machine

Depuis déjà plusieurs années, le monde de la finance et les banques se sont armées de machines emportant des intelligences artificielles pour augmenter leurs profits en bourse, mais aussi pour mieux protéger leurs clients, avec entre autres outils, une détection active des fraudes bancaires.

Ces outils peuvent utiliser bon nombre de technologies différentes pour arriver à leur fins. Dans le cas présent, pour garder une complexité relativement faible, permettre d’avoir un algorithme rapidement prototypable et aisément compréhensible, il a été fait le choix de se limiter à un réseau de profondeur très limitée et composé exclusivement de neurones linéaires.

Une fois de plus pour limiter la complexité du travail, étant donné le contexte de limitation du temps de ce projet, le choix a été porté sur le fait de créer de toute pièce une base de donnée. La création de cette base a commencé par le choix des paramètres, dans le cas présent cinq : le montant de la transaction, le type de payment, l’âge du client, si le virement est fait depuis l’étranger et si le virement a été fait pendant des vacances scolaires. Pour avoir un nombre suffisant de données, une génération procédurale a été mise en place. Cette génération se base sur des données de paramètres générés aléatoirement, puis seuillées. Ensuite, une Look-Up-Table à 5 entrée permettra de donner la probabilité de fraude pour cette combinaison de paramètres.

Une fois la taille de données en entrée et en sortie connues, il est possible de débiter l’architecture du réseau neuronal. La première couche, ou couche d’entrée, doit comporter autant de neurones qu’il y a de paramètres. La dernière couche, ou couche de sortie, doit comporter autant de neurones que de sorties. Un certain nombre de couches intermédiaires devra être rajouter pour augmenter la finesse des prédictions.

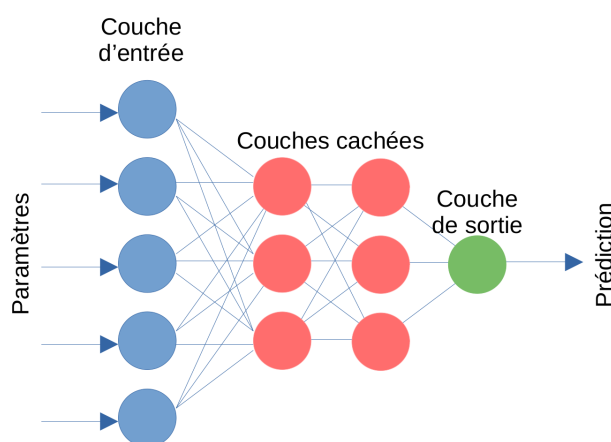


FIGURE 1 – Schéma du réseau neuronal implémenté

La structure d’un neurone linéaire est : une unité de calcul opérant une somme pondérée et une fonction d’activation. Un neurone peut alors être présenté tel que dans la figure ci dessous.

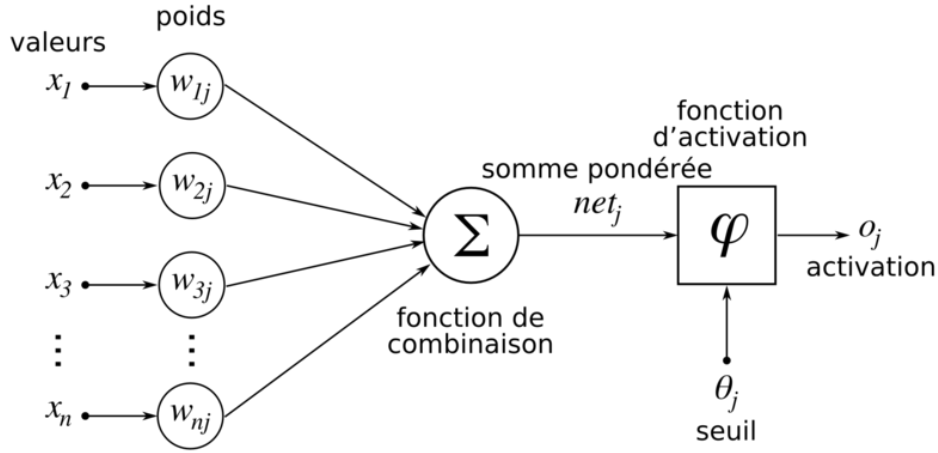


FIGURE 2 – Architecture d'un neurone

Le grand défi des réseaux neuronaux réside dans l'entraînement de ces derniers. En effet, lors de l'étape de "Backpropagation" des erreurs de prédiction, il est nécessaire de résoudre un nombre important de systèmes linéaires. Or, ce type de problème est recensé comme étant éligible au calcul quantique tel qu'expliqué plus tôt. Tout l'enjeu de cette étude est alors de mettre en avant le fait que l'ordinateur quantique permettra alors d'améliorer le temps d'apprentissage de ces algorithmes.

3.2 Application de l'algorithme quantique

L'algorithme quantique HHL, du nom de ses créateurs Harrow, Hassidim et Lloyd, a été découvert en 2009 et permet de résoudre des systèmes d'équations linéaires exponentiellement plus rapidement qu'avec des algorithmes classiques.

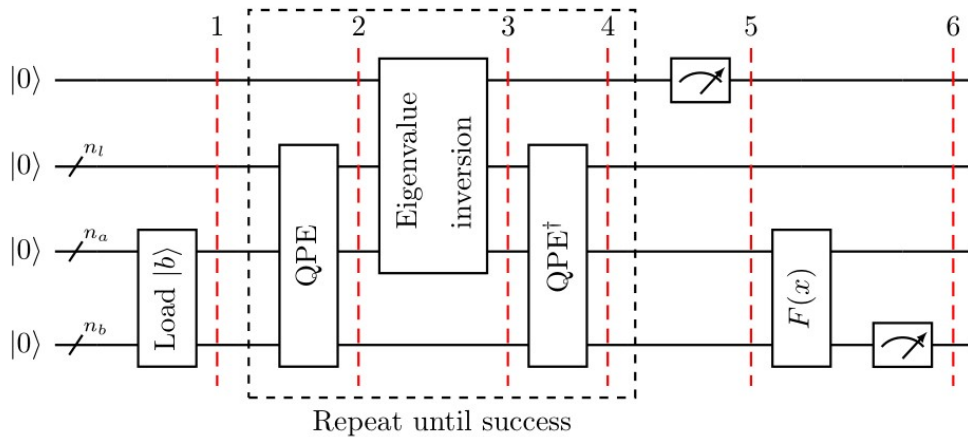


FIGURE 3 – Algorithme HHL

En s'appuyant sur les propriétés quantiques de superposition, l'algorithme arrive à trou-

ver x tel que $Ax=b$ en un temps d'exécution de l'ordre de $O(\log(N))$, où N représente la taille du vecteur b , ce qui représente une accélération exponentielle par rapport à l'algorithme classique le plus rapide, qui s'exécute en $O(N)$.

Cependant, cet algorithme impose certaines conditions sur les types de matrices et de variables à utiliser : on parle de problème "well-behaved".

L'algorithme repose sur l'utilisation de sous-programmes parmi les plus importants de l'informatique quantique tel que le Quantum Phase Estimation (QPE) qui permet de calculer les valeurs propres de la matrice A ou encore la Quantum Fourier Transform (QFT).

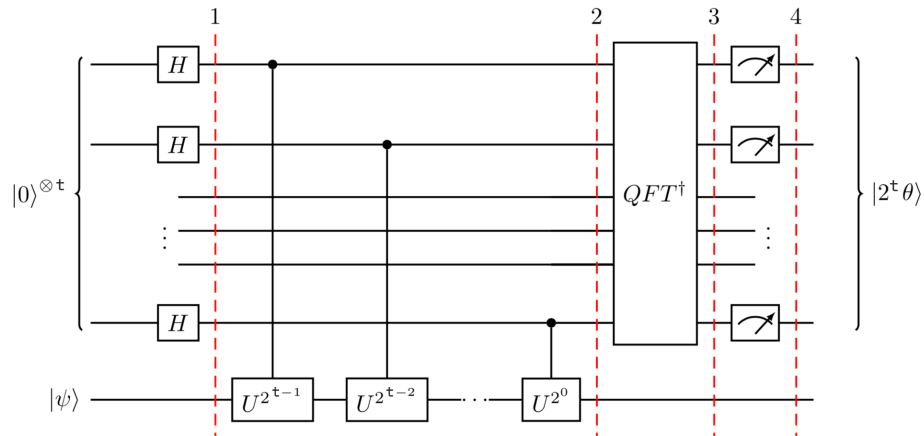


FIGURE 4 – QPE algorithm

Nous avons donc utilisé le code mis à disposition sur Qiskit afin d'implémenter cet algorithme de HHL avec une matrice proche de celle utilisée dans notre application de machine learning. Le code source utilisé est disponible en annexe. Comme montré dans le tableau ci-dessous, nous obtenons un résultat fidèle à $\approx 88,7\%$. Il va sans dire qu'avec un nombre de simulations répétées, les fluctuations statistiques ont moins d'impact relatif aux résultats finaux, qui s'en trouvent donc encore plus précis.

Éléments	Résultats
Matrice	$A = \begin{pmatrix} 0.246 & 3.2 \\ 3.2 & 0 \end{pmatrix}$
vecteur	$\vec{b} = \begin{pmatrix} -0.5 \\ 0.4 \end{pmatrix}$
Solution calculée par méthode classique	$\vec{x} = \begin{pmatrix} 0.125 \\ -0.16586 \end{pmatrix}$
Solution calculée par simulation quantique	$\vec{x} = \begin{pmatrix} 0.17300 \\ -0.11386 \end{pmatrix}$
Fidélité	88,6966 %
largeur de circuit	7
profondeur de circuit	102
Portes CNOT	54

TABLE 1 – Résultats de simulation de résolution d'un système d'équations linéaires

Ainsi on pourrait accélérer drastiquement la phase d'apprentissage de notre machine learning en résolvant bien plus rapidement les systèmes d'équations linéaires.

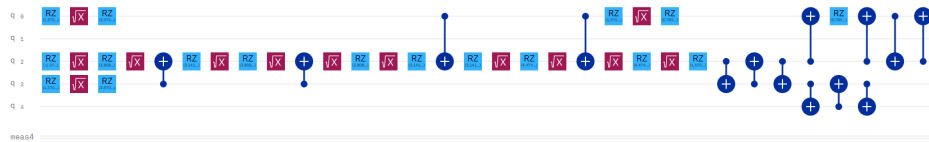


FIGURE 5 – Rendu de l'algorithme HHL sur IBM quantum Lab

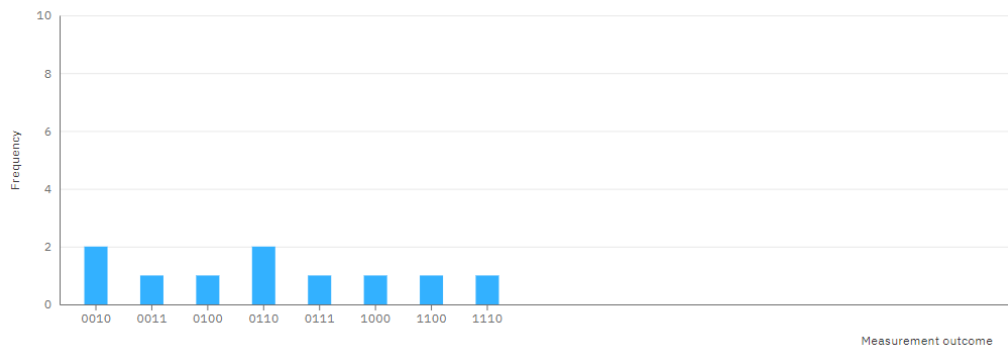


FIGURE 6 – Histogramme des résultats de l'algorithme HHL sur IBM quantum Lab

Sur ces figures, on peut voir le résultat du code de l'algorithme HHL implémenté sur l'outil de simulation de Qiskit avec les fréquences d'apparitions des 4 qubits pour le 17ème circuit.

4 Limites et défis actuels de la technologie quantique

Néanmoins, il faut garder à l'esprit que la technologie quantique est limitée sur certains aspects. Des conditions sur la composition des matrices et des vecteurs utilisés dans l'algorithme HHL sont encore un frein pour son utilisation généralisée.

En effet, il est nécessaire pour que l'algorithme fonctionne que la matrice A soit hermitienne, clairsemée de beaucoup de zéros, et avoir $\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}}$ relativement proche de 1, avec λ une valeur propre d'une matrice.

De plus, il faut actuellement refroidir les qubits à une température proche du zéro absolu pour éviter toute perturbation de l'environnement. Aussi, pour d'autres algorithmes et d'autres phénomènes quantiques comme l'intrication quantique, des énigmes comme la dé-cohérence restent à élucider pour exploiter pleinement ces phénomènes à grande échelle.

5 Conclusion

5.1 Utilisation de la technologie quantique à d'autres problèmes des FinTech

Actuellement, de nombreux algorithmes sont pensés et créés par des chercheurs en physique & informatique quantique permettant de supplanter leurs version s'appliquant aux ordinateurs "classiques". On trouve alors différents avantages à ceux-ci ainsi que différents domaines d'application au sein des activités des FinTech.

On peut citer notamment l'optimisation de la gestion des risques pour les positions des portefeuilles des banques ou fonds d'investissement, une meilleure précision du calcul des risques lors d'attribution de crédits, une meilleure gestion des flux entre un entrepôt central (ex : une réserve bancaire) et des locaux alentours afin de minimiser les échanges (coûteux) entre ceux-ci, ou entre autres un calcul plus précis des produits dérivés que certaines FinTech pourraient émettre sur les marchés financiers (marché action, marché obligataire, marché des changes, ...).

On ne peut oublier la cryptographie quantique dans le monde de la finance : les technologies quantiques permettront de crypter n'importe quelle transaction et certifier celles-ci d'inviolables et authentiques.

Les algorithmes quantiques seront ainsi amenés à bouleverser le monde de la finance.

5.2 Bilan de l'étude

Ainsi, ce hackaton nous aura permis de découvrir le monde intrigant de l'informatique quantique tout en nous interrogeant sur les défis de la finance de demain.

D'ici 15 ans, il semble totalement plausible que la technologie quantique permettent d'améliorer drastiquement la détection de fraudes via un machine learning bien plus



QWATCH

rapide de par l'utilisation d'algorithme quantique.

6 Références

<https://www.wavestone.com/app/uploads/2017/03/lutte-fraude-bancaire-en-ligne-nouvelles-methodes.pdf>
https://qiskit.org/textbook/ch-applications/hhl_tutorial.html
<https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/quantum-phase-estimation.html>
https://www.academia.edu/28804907/Solving_Linear_Systems_of...
<https://quantumcomputing.com/strangeworks/harrow-hassidim-lloyd-hhl-algorithm>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Accords_de_B%C3%A2le
<https://www.efinancialcareers.ch/fr/actu/2020/12/les-algorithmes-quantiques-arrivent-dans-la-finance>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_Shor
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Porte_quantique#Porte_de_Hadamard_\(H\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Porte_quantique#Porte_de_Hadamard_(H))
https://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_Grover
<https://www.youtube.com/watch?v=ied31kWh7Y>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405428318300571>
<http://www.quantumforquants.org/>
<https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/exploring-quantum-financial>
<https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/how-quantum-computing-could-change-financial-services>
<https://singularityhub.com/2016/06/13/how-quantum-computing-can-make-finance-more-scientific/>
<https://arxiv.org/pdf/1705.01428v3.pdf>
<https://cestpasmonidee.blogspot.com/2020/04/la-gestion-de-risques-ler-quantique.html>
https://fr.wikipedia.org/wiki/Calculateur_quantique#Int%C3%A9r%C3%AAt_des_calculateurs
<https://theconversation.com/linformatique-quantique-nouvelle-frontiere-de-la-finance-127348>
https://qiskit.org/documentation/_modules/qiskit/aqua/algorithms/linear_solvers/hhl.html
<https://www.youtube.com/watch?v=ggnT8I3MQRk>
<https://www.youtube.com/watch?v=ZVlkl1xYjwo>
<https://www.youtube.com/watch?v=utfOzRfqles>
<https://www.youtube.com/watch?v=o-FyH2A7Ed0>
<https://www.youtube.com/watch?v=-EoNrgDR3s>
<https://www.youtube.com/watch?v=OLa8DQkKlyU>
<https://www.youtube.com/watch?v=R9FjVUIZeY8list=PLOFEBzvs-VvrhKYASly1BXo1AdPyoCsc>
<https://www.youtube.com/watch?v=abeZIBWSdUo>
<https://www.youtube.com/watch?v=n68tRsNRVbg>
<https://www.youtube.com/watch?v=RwaVqvZ3xo8>