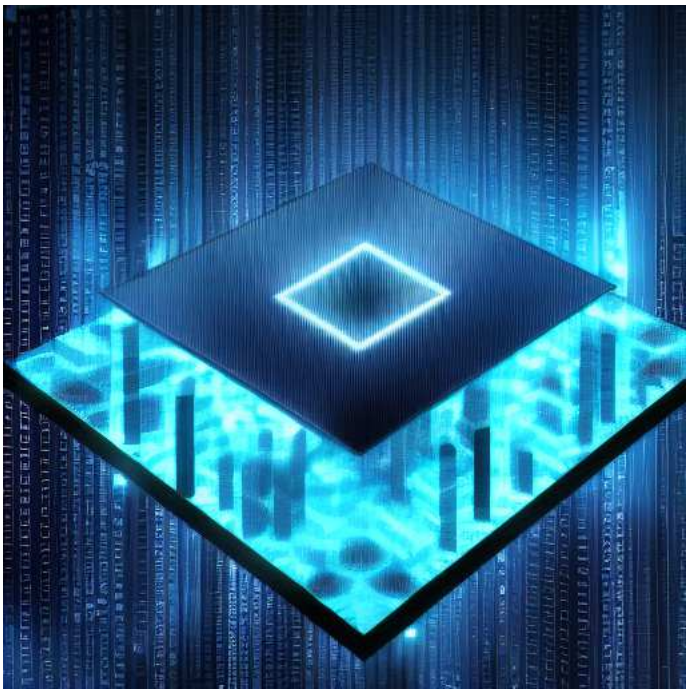
Gymnase Auguste Piccard

Travail de maturité

Les algorithmes quantiques

Ou une théorie d'optimisation



Romain Blondel

25 mars 2023

Classe : 2M8

Abstract

Table des matières

Première partie

Préambule

Chapitre 1

Introduction

Chapitre 2

Notions théoriques

2.1 Informatique

2.2 Physique

Deuxième partie

Les notions de base

Chapitre 3

Un ordinateur classique

3.1 Logique

3.2 Hardware

Chapitre 4

Un qubit

4.1 Superposition d'états

4.2 Opérations sur un qubit

4.3 Mesure

Chapitre 5

Système à plusieurs qubits

5.1 Description du système

5.2 Les portes

5.3 Superposition

5.3.1 Superdense Coding

5.3.2 Quantum Teleportation

Chapitre 6

Un ordinateur quantique

6.1 Hardware

6.2 Universalité

Troisième partie

Exemples d'algorithmes

Chapitre 7

Algorithme de Deutsch-Jozsa

Chapitre 8

Quelques protocoles

8.1 Phase kickback

8.2 Quantum Fourier Transform

8.3 Quantum Phase Estimation

Chapitre 9

Algorithme de Shor

9.1 Principe

9.2 Implémentation simple

9.2.1 Simulation

9.2.2 Hardware réel

9.3 Application à un problème concret

Chapitre 10

Cryptographie : distribution de clés

Chapitre 11

Algorithme de Grover

11.1 Principe

11.2 Comparaison avec une implémentation classique

11.2.1 2 entrées

11.2.2 3 entrées

11.2.3 4 entrées

11.2.4 Différence de complexité

11.3 Résolution d'un sudoku

Chapitre 12

Iterative Phase Estimatimation et optimiser l'algorithme de Grover

Chapitre 13

Modélisation d'un système physique

Quatrième partie

Et après...

Chapitre 14

Technologies de hardware

Chapitre 15

Sur des machines à court terme

Chapitre 16

Sur le long terme

Chapitre 17

Conclusion

Bibliographie

[1] Dorit Aharonov. *A Simple Proof that Toffoli and Hadamard are Quantum Universal*. 2003. DOI : 10.48550/ARXIV.QUANT-PH/0301040. URL : https://arxiv.org/abs/quant-ph/0301040.

[2] Adam R. Brown et Leonard Susskind. "A holographic wormhole traversed in a quantum computer". In : *Nature* 612.7938 (nov. 2022), p. 41-42. DOI : 10.1038/d41586-022-03832-z. URL : https://doi.org/10.1038/d41586-022-03832-z.

[3] R. Cleve, A. Ekert, C. Macchiavello et M. Mosca. "Quantum algorithms revisited". In : *Proceedings of the Royal Society of London. Series A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 454.1969 (jan. 1998), p. 339-354. DOI : 10.1098/rspa.1998.0164. URL : https://doi.org/10.1098/rspa.1998.0164.

[4] Arkady Fedorov, Lars Steffen, Matthias Baur, M. P. da Silva et Andreas Wallraff. "Implementation of a Toffoli Gate with Superconducting Circuits". In : (2011). DOI : 10.48550/ARXIV.1108.3 URL : https://arxiv.org/abs/1108.3966.

[5] Richard Feynman, Robert B. Leighton et Matthew L. Sands. "The Hyperfine Splitting in Hydrogen". In : *The Feynman lectures on physics*. T. 3. 1963-1965. Chap. 12, p. 1-9.

[6] Lov K. Grover. "A fast quantum mechanical algorithm for database search". In : *Proceedings of the twenty-eighth annual ACM symposium on Theory of computing - STOC '96*. ACM Press, 1996. DOI : 10.1145/237814.237866. URL : https://doi.org/10.1145/237814.237866.

[7] *IBM Quantum*. 2023. URL : https://quantum-computing.ibm.com/.

[8] "Rapid solution of problems by quantum computation". In : *Proceedings of the Royal Society of London. Series A : Mathematical and Physical Sciences* 439.1907 (déc. 1992), p. 553-558. DOI : 10.1098/rspa.1992.0167. URL : https://doi.org/10.1098/rspa.1992.0167.

[9] Jonathan Romero et Alan Aspuru-Guzik. *Variational quantum generators : Generative adversarial quantum machine learning for continuous distributions*. 2019. DOI : 10.48550/ARXIV.1901.00848. URL : https://arxiv.org/abs/1901.00848.

[10] Shihan Sajeed, A. Ahmed, S. M. Ullah et Z. H. Mozumder. "An approach to realize a quantum Hadamard gate through optical implementation". In : *2010 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*. IEEE, mai 2010. DOI : 10.1109/eit.2010.5612120. URL : https://doi.org/10.1109/eit.2010.5612120.

[11] P.W. Shor. "Algorithms for quantum computation : discrete logarithms and factoring". In : *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*. IEEE Comput. Soc. Press. DOI : 10.1109/sfcs.1994.365700. URL : https://doi.org/10.1109/sfcs.1994.365700.

[12] *Site officiel Qiskit*. 2023. URL : https://qiskit.org.

[13] Joseph G. Smith, Crispin H. W. Barnes et David R. M. Arvidsson-Shukur. *An iterative quantum-phase-estimation protocol for near-term quantum hardware*. 2022. DOI : 10.48550/ARXIV.2206.0639 URL : https://arxiv.org/abs/2206.06392.

[14] A tA v, MD SAJID ANIS, Abby-Mitchell, Héctor Abraham, AduOffei, Rochisha Agarwal et al. *Qiskit : An Open-source Framework for Quantum Computing*. 2021. DOI : 10.5281/zenodo.2573505.

[15] Wikipedia contributors. *Big O notation — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Big_O_notation.

[16] Wikipedia contributors. *Charge qubit — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Charge_qubit.

[17] Wikipedia contributors. *Computational complexity theory — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_complexity

[18] Wikipedia contributors. *Cooper pair — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Cooper_pair.

[19] Wikipedia contributors. *Deutsch–Jozsa algorithm — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/DeutschâĂŞJozsa_algorithm.

[20] Wikipedia contributors. *Double-slit experiment — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment.

[21] Wikipedia contributors. *Expérience d'Aspect — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/ExpÃŀrience_d%27Aspect.

[22] Wikipedia contributors. *Grover's algorithm — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Grover%27s_algorithm.

[23] Wikipedia contributors. *IBM Quantum Experience — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/IBM_Quantum_Experience.

[24] Wikipedia contributors. *Logic gate — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Logic_gate.

[25] Wikipedia contributors. *MOSFET — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET.

[26] Wikipedia contributors. *Pauli matrices — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Pauli_matrices.

[27] Wikipedia contributors. *Quantum complexity theory — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_complexity_theory.

[28] Wikipedia contributors. *Quantum computing — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_computing.

[29] Wikipedia contributors. *Quantum counting algorithm — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_counting_algorithm.

[30] Wikipedia contributors. *Quantum entanglement — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_entanglement.

[31] Wikipedia contributors. *Quantum Fourier transform — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Fourier_transform.

[32] Wikipedia contributors. *Quantum logic gate — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_logic_gate.

[33] Wikipedia contributors. *Quantum mechanics — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_mechanics.

[34] Wikipedia contributors. *Quantum phase estimation algorithm — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_phase_estima

[35] Wikipedia contributors. *Quantum superposition — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_superposition.

[36] Wikipedia contributors. *Shor's algorithm — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Shor%27s_algorithm.

[37] Wikipedia contributors. *Superconducting quantum computing — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Superconducting_quantu

[38] Wikipedia contributors. *Transmon — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Transmon.

[39] Wikipedia contributors. *Trapped ion quantum computer — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [En ligne ; vu en 2023]. 2023. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Trapped_ion_quantum_comput

[40] James R. Wootton, Francis Harkins, Nicholas T. Bronn, Almudena Carrera Vazquez, Anna Phan et Abraham T. Asfaw. "Teaching quantum computing with an interactive textbook". In : *2021 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)*. 2021, p. 385-391. DOI : 10.1109/QCE52317.2021.00058.