
ETUDE COMPAREE DE L'INFORMATION CLASSIQUE ET QUANTIQUE

KAKUDJI NGOY WA ILUNGA Célestin

Résumé

L'évolution rapide des technologies numériques a profondément transformé la manière de traitement, de transmission et de stockage de l'information.

Aujourd'hui, l'informatique classique constitue la base de l'informatique moderne et des systèmes de communication.

Cependant, les progrès de la mécanique quantique ont contribué à l'émergence de l'information quantique, reposant sur des principes physiques nouveaux tels que la superposition, l'intrication et l'interférence quantique.

Cette étude a pour objectif de distinguer l'information classique de l'information quantique afin de dégager leurs caractéristiques, leurs avantages, leurs limites ainsi que leurs domaines d'application.

La méthodologie adoptée repose sur une analyse des documents et une comparaison des publications scientifiques disponibles.

Les résultats indiquent que l'information classique reste adaptée aux usages courants grâce à sa stabilité et sa simplicité tandis que l'information quantique ouvre de nouvelles perspectives dans les domaines du calcul de haute performance, de la cryptographie et de l'intelligence artificielle.

Mots-clés : Information classique, information quantique, bit, qubit, informatique quantique, communication numérique.

Abstract

The rapid evolution of digital technologies has profoundly transformed how information is processed, transmitted, and stored.

Today, classical computing forms the basis of modern computing and communication systems.

However, advances in quantum mechanics have contributed to the emergence of quantum information, based on new physical principles such as superposition, entanglement, and quantum interference.

This study aims to distinguish classical information from quantum information in order to identify their characteristics, advantages, limitations, and application areas.

The methodology adopted is based on a review of existing literature and a comparison of available scientific publications.

The results indicate that classical information remains suitable for everyday uses due to its stability and simplicity, while quantum information opens new perspectives in the fields of high-performance computing, cryptography, and artificial intelligence.

Keywords: Classical information, quantum information, bit, qubit, quantum computing, digital communication



Introduction

Aujourd'hui, l'information constitue une source essentielle dans ce monde moderne. Elle intervient presque dans tous les secteurs de la vie humaine, notamment les télécommunications, l'économie, l'éducation, la santé et les technologies numériques. Le développement des ordinateurs et des réseaux de communication a permis l'émergence de la théorie classique de la théorie classique de l'information.

La théorie classique de l'information repose sur le traitement binaire des données à travers les bits représentés par les valeurs 0 à 1.

Ce modèle a permis le développement des ordinateurs modernes, de l'internet et des systèmes numériques actuels. Toutefois, avec l'augmentation des besoins en calcul et en sécurité informatique, certaines limites des systèmes classiques se manifestent progressivement.

Parallèlement, les progrès de la mécanique quantique ont conduit à l'apparition de l'information quantique. Cette nouvelle approche exploite les propriétés des particules quantiques afin de réaliser des opérations beaucoup plus complexes que celles des systèmes classiques.

L'information quantique repose sur le qubit, capable d'exister simultanément dans plusieurs états grâce au phénomène de superposition.

Ainsi, cette étude vise à comparer l'information classique et l'information quantique afin de mieux comprendre leurs différences fondamentales, leurs applicatives ainsi que leurs perspectives d'avenir.

1. Cadre théorique et conceptuel

1.1. Information

L'information peut être comprise comme un ensemble de données pouvant être traitées par un système informatique. Et ces données informatiques sont représentées par des « **suites de nombres** »

Pour bien dire, une donnée est une représentation d'une information sous forme conventionnelle destinée à faciliter son traitement. Elle peut être considérée comme une notion ou une instruction représenté sous forme conventionnelle convenant à la

communication, à l'interprétation, ou à un traitement par l'homme ou par des moyens automatiques.

Ainsi, l'information a une nature physique et sa génération et son traitement sont régies par les lois de la physique. Alors l'information reste une entité physique. L'information est représentée physiquement dans les états des systèmes.

1.2. Information classique

L'information classique est basée sur la logique booléenne (ou de l'algèbre de Boole). C'est un système mathématique utilisant des variables ne pouvant prendre que deux valeurs : vrai (1) ou faux (0).

1.3. Information quantique

L'information quantique s'appuie sur la physique des particules exploitant les propriétés des particules quantiques. Elle désigne l'information transportée par des microparticules, comme les électrons ou les photons, dans un environnement de traitement de données.

L'information quantique est basée sur la logique probabiliste appelée encore logique quantique (ou de l'algèbre linéaire), utilisant des espaces vectoriels et des matrices dans les espaces de Hilbert.

1.4. Problématique

L'évolution des besoins technologiques impose des capacités de calcul de plus en plus élevées.

Les systèmes classiques présentent certaines limites liées à la vitesse de traitement, à la consommation énergétique et à la sécurité des données.

Face à ces défis, l'information quantique apparaît comme une alternative innovante capable de résoudre certains problèmes complexes beaucoup plus rapidement.

Les questions principales de cette étude sont les suivantes :

- 1) Qu'est-ce qui distingue l'information quantique de l'information classique ?
- 2) Y-a-t-il un apport de l'information quantique de l'information classique dans le traitement de l'information ?

1.5. Hypothèse

En réponses à ces questions, nous pouvons dire ceci :

- L'information quantique offre des capacités des calculs et de sécurité supérieures à celles de l'information classique ;
- L'information classique demeure plus stable et plus accessible technologiquement, l'information quantique permet un traitement parallèle plus rapide,

Les applications quantiques pourraient révolutionner les systèmes informatiques futurs.

1.6. Objectifs

Notre objectif dans cette étude est double :

1. De distinguer l'information classique à l'information quantique, en cherchant les similitudes et en déterminant les différences.
2. D'approfondir les connaissances sur les applications de l'information quantique. C'est-à-dire de comprendre comment les lois de la physique à l'échelle de l'infiniment petit peuvent révolutionner notre façon de traiter les données.

2. Méthodologie

Cette étude repose sur une méthodologie documentaire et comparative.

- La méthode comparative a permis d'identifier les différences entre les systèmes classiques et quantiques.
- La méthode analytique a servi à examiner les caractéristiques techniques de chaque modèle d'information

Les données utilisées proviennent d'ouvrages scientifiques, d'articles académiques ; de revues spécialisées, de publications Universitaires portant sur l'information classique et quantique.

3. Résultats de comparaison

Pour mener notre étude comparative entre l'information classique et quantique, nous avons essayé d'analyser les différences fondamentales de stockage (bits 0/1 contre qubits superposés), de traitement (portes logique contre portes quantiques) et de principes physiques.

C'est-à-dire nous avons déterminé les caractéristiques de l'informations dans chaque cas. Nous pouvons citer l'unité de base, la logique de calcul, la ressource clé et les applications.

3.1. Information classique

3.1.1. Unité de base

Dans un système de traitement de l'information classique, la machine possède des éléments de mémorisation qui peuvent prendre que deux états possibles « 0 » et « 1 », on dit qu'elle ne fonctionne qu'avec des 0 et des 1. On parle du mode binaire, c'est-à-dire en base 2.

Le bit est l'unité de base de l'information classique, de l'anglais binary digit. Il peut représenter (ou être représenté par) tout système susceptible de prendre deux états contraires ou complémentaires, tout doublet d'états associés : existe ou n'existe pas (une perforation sur une carte, une impulsion sur une bande, etc.) ; tout système conceptuel booléen (vrai ou faux), toute dualité (les deux chiffres 0 et 1 de la numération binaire), etc.

3.1.2. Logique de calcul

Pour faire un calcul sur ensemble des bits classiques, on applique des opérations logiques, aussi appelées « portes logiques ».

Les portes logiques classiques sont les briques de base de l'informatique et des circuits électroniques numériques. Elles effectuent des opérations booléennes en manipulant un ou plusieurs signaux d'entrée (0 ou 1) pour produire un résultat unique en sortie. Elles sont

régies par l'algèbre de Boole. On les distingue généralement en trois grandes catégories :

a) Les portes de base (opérateurs fondamentaux)

- NON (NOT/inverseur) : inverse l'entrée, si l'entrée est 0, la sortie est 1. Si l'entrée est 1, la sortie est 0 ;
- ET (AND/conjonction) : la sortie est à 1 uniquement si toutes les entrées sont à 1. Sinon, elle est à 0.
- OU (OR/disjonction) : la sortie est à 1 si au moins une des entrées est à 1. Elle n'est à 0 que si toutes les entrées sont à 0.

b) Les portes dérivées (combinaisons des portes de base)

- NON-ET (NAND) : l'inverse d'un ET. La sortie est à 0 seulement si toutes les entrées sont à 1, sinon elle est à 1 ;
- NON-OU (NOR) : l'inverse d'un OU, la sortie est à 1 seulement si toutes les entrées sont à 0, sinon elle est à 0.

c) Les portes logiques spécifiques

- OU Exclusif (XOR/différence) : la sortie est à 1, si les entrées sont différentes (l'une à 1 et l'autre à 0). Si elles sont identiques (toutes deux à 1), la sortie est à 0 ;
- NON-OU Exclusif (XNOR/coïncidence) : l'inverse du XOR. La sortie est à 1 si les autres sont identiques.

Ces portes logiques sont donc des circuits (électroniques) qui acceptent en entrée un ou des signaux logiques (0 ou 1) présentés à leurs entrées sous forme de tension.

Les calculs s'effectuent de manière linéaire, étape par étape. C'est-à-dire les calculs sont réalisés de manière séquentielle. La puissance de calcul augmente proportionnellement à l'ajout de circuits. Elle est limitée pour les problèmes complexes.

3.1.3. Ressources clé

En physique, les deux états logiques 0 et 1 sont représentés par un signal électrique : c'est-à-dire un signal compris entre 2 et 5 volts correspondant à l'état binaire 1. Une porte logique est constituée de transistors, un transistor est un composant électronique qui se comporte comme un interrupteur très rapide. Un transistor correspond à un inverseur, en montant deux transistors en série (ou cascade), on obtient une porte NAND, et en montant deux transistors en parallèle, on construit une porte NOR.

3.1.4. Applications

L'information classique exécute les tâches quotidiennes comme la navigation sur le web ou l'utilisation du traitement de texte dans des bureautiques.

Cette information classique reste encore utilisée aujourd'hui dans les ordinateurs, les téléphones, les réseaux internet, les systèmes bancaires et les bases de données.

3.2. Information Quantique

3.2.1. Unité de base

L'unité fondamentale de l'information quantique est le qubit.

Dans le formalisme de la mécanique quantique, les états de base du bit quantique ou qubit (de l'anglais quantum bit) sont représentés par deux vecteurs, notés : $|0\rangle$ et $|1\rangle$. Ils évoluent dans un espace de Hilbert à 2 dimensions où ils acceptent la représentation matricielle ;

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ et } |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ ils sont orthonormés}$$

$$\langle 0|0\rangle = \langle 1|1\rangle = 1 \text{ et } \langle 0|1\rangle = \langle 1|0\rangle = 0$$

Préparer un qubit dans son état de base $|0\rangle$ est chose plus ou moins aisée.

Alors qu'un bit classique n'existe que dans l'un ou l'autre de ses états de base, 0 ou 1, un qubit peut exister dans un état quelconque de superpositions quantiques de ces deux états de base :

$$|4\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

Avec $\langle 4|4\rangle = |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$

Ici les deux α et β sont des paramètres complexes qui incluent des informations d'amplitude et de phase.

En mécanique quantique, une phase entière ne peut pas être détectée et peut être omise, seule la phase relative de α et β est importante, ce qui est :

$$\phi = \phi_\alpha - \phi_\beta$$

3.2.2. Logique de calcul

Le traitement quantique de l'information est également réalisé par l'opération de portes, c'est-à-dire les portes logiques manipulent les qubit (vecteurs complexes).

On peut distinguer les portes à un qubit, les portes à plusieurs qubits (contrôlées) et les portes universelles.

a) Portes à un qubit

Ces portes agissent sur un seul qubit et sont représentées par des cases carrées contenant une lettre sur la ligne du qubit :

- Porte NON (Pauli-X) : $[X]$, l'équivalent quantique de la porte NON classique. Elle inverse l'état du qubit (échange les amplitudes de $|0\rangle$ et $|1\rangle$);
- Porte de Hadamard : $[H]$, c'est la porte de création de superposition fondamentale. Elle transforme l'état de base $|0\rangle$ en un état superposé : $\frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$;
- Portes de phase (S, T, Z) : $[S]$, $[T]$, $[Z]$ ces portes modifient la phase relative de l'état du qubit sans affecter ses probabilités de mesure. Elles sont utilisées pour les interférences.

b) Portes à plusieurs qubit (contrôlées)

Les portes à deux qubits ou plus impliquent généralement un qubit de contrôle et un ou plusieurs qubit ciblés.

Le contrôle détermine si l'opération est appliquée au (x) cible (s) :

- Porte NON contrôlée (CNOT) : inverse le qubit cible (NOT) si et seulement si le qubit de contrôle est dans l'état $|1\rangle$. Elle permet de créer des états intriqués (comme les paires de Bell) ;

- Porte SWAP : échange l'état quantique dans deux qubits. Son action consiste à échanger les états de deux qubits et à déphaser les amplitudes $|01\rangle$ et $|10\rangle$ de i .

c) Portes universelles

Toute porte à trois qubits (deux contrôles, une cible). Elle est l'analogie réversible de la porte NAND classique, ce qui signifie qu'elle est universelle : tout calcul classique ou quantique peut être réalisé en utilisant uniquement des portes de Toffoli.

3.2.3. Ressource clé

L'information quantique repose sur la superposition, l'intrication et l'interférence quantique. Ces propriétés permettent un calcul parallèle extrêmement rapide.

La superposition : le qubit peut être à la fois 0 et 1 simultanément. Il peut exister dans de multiples combinaisons d'états à la fois, ce qui permet à un ordinateur quantique d'explorer des millions de solutions possibles.

L'intrication : les qubits sont liés entre eux, l'état de l'un détermine instantanément l'état des autres, accélérant exponentiellement la puissance de calcul.

Cela permet des calculs conjoints ultrarapides.

L'interférence quantique : les amplitudes de probabilité des états des qubits se combinent pour se renforcer (interférence constructive) ou s'annuler (interférence destructive).

3.2.4. Application

L'informatique quantique est spécialisé dans :

1. La recherche et simulation pour modéliser des molécules en chimie ou simuler des systèmes physiques complexes ;
2. L'optimisation pour la résolution de problèmes logiques ou financiers complexes nécessitant de traitement de milliards de variables en simultané ;
3. La cryptographie pour factoriser rapidement de très grands nombres premiers ;
4. L'intelligence artificielle.

L'informatique quantique ouvre aussi la voie à des communications inviolables.

4. Discussion et analyse

L'étude comparée indique que l'information classique et l'information quantique reposent sur des principes fondamentalement différents.

L'information classique utilise une logique déterministe où chaque bit possède une valeur unique. Cette approche offre une grande stabilité et facilite le développement des systèmes informatiques actuels.

Par contre l'information quantique exploite la logique probabiliste ou logique quantique (qui est fondée sur les espaces de Hilbert) traite de l'indéterminisme fondamental des particules.

Grâce à la superposition, les qubits peuvent exister dans des multiples combinaisons d'états à la fois, cela permet d'explorer de multiples solutions à un problème en une seule étape. Cette propriété donne aux ordinateurs quantiques une puissance théorique beaucoup plus élevée que celle des ordinateurs classiques.

Cependant, les technologies quantiques restent encore très coûteuses et difficiles à stabiliser. Les qubits sont sensibles aux perturbations extérieures, ce qui complique leur utilisation à grande échelle.

Malgré ces difficultés, les perspectives de l'informatique quantique restent très prometteuses dans plusieurs domaines stratégiques tels que la cyber sécurité, la cryptographie, la recherche scientifique et l'intelligence artificielle.

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de distinguer l'information classique à l'information quantique afin d'identifier leurs différences fondamentales, leurs avantages ainsi que leurs domaines d'application.

L'analyse a indiqué que l'information classique reste encore aujourd'hui une base des technologies numériques modernes vue sa stabilité, sa simplicité et son faible coût. Toutefois, l'information quantique représente une avancée scientifique majeure capable

d'améliorer considérablement les capacités de calcul et la sécurité des communications.

Ainsi, l'avenir des technologies numériques pourrait dépendre de la complémentarité entre les systèmes classiques et quantiques.

Enfin, cette étude recommande le renforcement des recherches scientifiques dans ce domaine de l'informatique quantique afin de pousser le développement des technologies du futur.



Global
Scientific
JOURNALS

REFERENCE

[1]Mputu M. (2022-2023), cours d'informatique générale, Kinshasa, webprint, page 2

[2]Yende R. (2022), support de cours d'informatique générale, UNIBAS, page 10-39

[3]Blaise A. (2014), Mécanique quantique II, Département de Physique, Université de Sherbrooke, PHQ-430, page 26-48

[4]<https://www.sciencedirect.com/science> de l'information quantique dans le domaine d'étude physique et astronomie

[5]<https://www.physinfo.org>, Introduction à la théorie quantique de l'information

[6]<https://www.physique-quantique.wikibis.com/>, Intrication-quantique.php