

Extraire de l'énergie de la mesure quantique

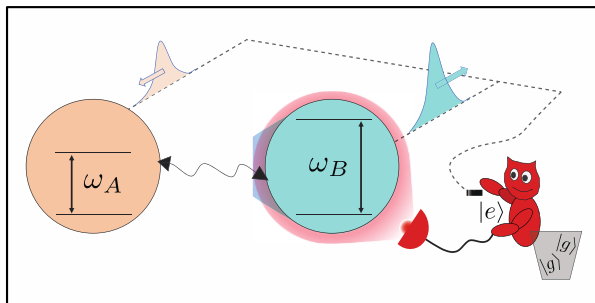
Alexia AUFFEVES

Institut Néel-CNRS & Université Grenoble-Alpes
contact : alexia.auffeves@neel.cnrs.fr

Le postulat de la mesure est sans appel: Observer un système quantique perturbe son état. L'analyse théorique des conséquences énergétiques de ce mécanisme fondamental révèle que la mesure est une ressource énergétique, pouvant nourrir des moteurs d'un nouveau type.

Comprendre et mesurer l'empreinte énergétique de la mesure quantique est un Graal de la thermodynamique quantique, une discipline émergente à l'interface entre deux sciences du hasard: la physique quantique et la thermodynamique statistique. La mesure quantique a deux facettes. D'une part, elle permet d'extraire au niveau classique de l'information sur un système quantique. Ce processus capturé par le postulat de la mesure est associé à des coûts énergétiques encore mal connus. D'autre part, les fluctuations quantiques induites par l'acte de mesure sont associées à des changements d'énergie et d'entropie au niveau du système mesuré: la mesure quantique joue ainsi un rôle similaire à celle d'une source chaude en thermodynamique, devenant potentiellement une ressource énergétique

pour des moteurs d'un nouveau type.



Il est possible de réconcilier les deux aspects de la mesure, en analysant un moteur fonctionnant à base d'intrication et de mesure quantiques. La machine se compose de deux qubits couplés de fréquences différentes. A l'instant initial, le qubit « rouge » absorbe un photon. Ce photon est ensuite échangé entre les deux qubits, qui

deviennent intriqués. Une mesure locale effectuée sur l'un des deux qubits projette alors le photon dans le qubit bleu avec une probabilité finie, générant un gain net d'énergie. Ce « fuel » ne peut venir que de la chaîne de mesure. Il est converti en travail en exploitant l'information extraite lors de la mesure, dans un cycle typique d'un démon de Maxwell.

L'origine microscopique de ce fuel est explorée en modélisant le processus de mesure comme l'intrication du qubit mesuré avec une aiguille quantique. L'analyse révèle l'existence d'un flux d'énergie: initialement localisée dans les corrélations quantiques entre les deux qubits, celle-ci migre progressivement vers les corrélations entre les qubits et l'aiguille quantique. Au niveau fondamental, l'énergie de la mesure peut donc être interprétée comme le coût d'effacement des corrélations quantiques entre les qubits.

Ces résultats offrent une perspective différente sur le postulat de la mesure, dont le statut au sein de la théorie quantique ne fait toujours pas l'objet d'un consensus. Ils sont valides en l'absence de bruit thermique, la seule source de fluctuations étant la mesure quantique. En ce sens, ils ouvrent la voie à l'étude des flux d'énergie, d'entropie et d'information à l'intérieur de systèmes quantiques complexes, couplés à des sources de bruit quantique arbitraire. C'est typiquement le cas des processeurs quantiques, pour lequel la compréhension des mécanismes énergétiques fondamentaux sera indispensable à l'optimisation de leur consommation.



C. Elouard, D. Herrera-Martí, B. Huard, Alexia Auffèves, *Extracting work from quantum measurement in Maxwell demon engines*, Phys. Rev. Lett. 118, 260603 (2017)

C. Elouard, A. N. Jordan and A. Auffèves, *Quantum measurement engines and their Relevance for quantum interpretations*, QuantumStud.: Math. Found., 10.1007/s40509-019-00217-2 (2020).

L. Bresque, P. Camati, R. Spencers, K. Murch, A. Jordan, A. Auffèves, *Two-qubit engine fueled by entanglement and local measurements*, Phys. Rev. Lett. 126, 120605 (Editor's Suggestion), [Communication INP](#), covered in [Phys.org](#)