

## Ressources quantiques et traitement numérique des images

François CHAPEAU-BLONDEAU, Étienne BELIN

*Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS),  
Université d'Angers, 62 avenue Notre Dame du Lac, 49000 Angers, France.*

chapeau@univ-angers.fr

L'optique quantique et l'imagerie quantique constituent des domaines scientifiques déjà très avancés. Ils se situent plutôt au niveau physique des images, en mettant fréquemment en jeu des états quantiques à très grands nombres de photons représentant des systèmes quantiques souvent de dimension infinie. Sur ce niveau physique de l'imagerie, s'enchaîne le niveau computationnel de l'imagerie. À ce niveau, à une autre extrémité de la chaîne de traitement de l'information, on a affaire à des images numériques qui classiquement sont codées comme des tableaux d'octets dans la mémoire d'un ordinateur pour servir de base aux opérations constituant le traitement numérique des images. On peut alors envisager l'analogie quantique de telles images numériques, où l'information en chaque pixel est codée par un système quantique de très faible dimension, comme un qubit ou un octet de qubits. Sous cette forme, l'informatique quantique montre que l'on peut tirer parti de ressources radicalement nouvelles et inexistantes en classique pour contribuer au traitement de l'information. Le parallélisme quantique, l'intrication, constituent de telles ressources, permettant par exemple l'évaluation parallèle de fonctions comme dans l'algorithme de Deutsch-Jozsa, ou bien le codage superdense ou la téléportation [1]. Ces techniques du traitement quantique de l'information présentent un caractère générique [1]. Elles se développent et contribuent au traitement du signal étendu en quantique [2, 3]. Le traitement d'images de par ses spécificités peut potentiellement bénéficier largement de ces possibilités de traitement parallèle et de corrélations quantiques. Une telle orientation de l'information quantique dédiée pour le traitement numérique des images représente un champ de recherche encore en émergence [4], avec de riches potentialités à explorer.

Pour illustration, nous examinons le codage quantique d'une image binaire. En codant l'information de chaque pixel, non plus au moyen d'un seul qubit à deux états  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ , mais au moyen d'une paire de qubits ayant accès à deux états intriqués comme  $\{(|00\rangle + |11\rangle)/\sqrt{2}, (|01\rangle - |10\rangle)/\sqrt{2}\}$ , on montre la possibilité de bénéficier de propriétés d'invariance vis-à-vis de la base de décodage, et de résistance au bruit quantique. La Fig. 1(a) représente une image binaire initiale de taille  $256 \times 256$  pixels. Sur chacune des 4 images (b)–(e) de la Fig. 1, la partie gauche montre l'effet néfaste d'une base de décodage ayant un décalage angulaire croissant par rapport à la base de codage  $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ , et ceci dans les conditions favorables d'absence de bruit quantique ; la partie droite montre le bénéfice d'un codage insensible à la base, et avec une résistance accrue au bruit quantique présent ici, ceci grâce à l'exploitation d'une paire de qubits intriqués en chaque pixel, avec notamment un des deux états du codage binaire pouvant être rendu totalement immune au bruit quantique.

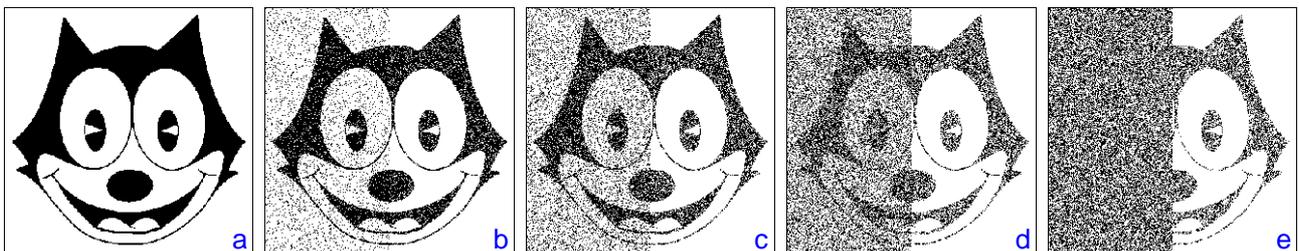


Fig. 1 : Image binaire initiale (a), puis deux codages quantiques pour tirer plusieurs bénéfices de l'intrication (b)–(e).

### RÉFÉRENCES

- [1] J. A. Jones, D. Jaksch, *Quantum Information, Computation and Communication*. Cambridge : Cambridge University Press, 2012.
- [2] F. Chapeau-Blondeau, "Optimization of quantum states for signaling across an arbitrary qubit noise channel with minimum-error detection," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 61, pp. 4500–4510, 2015.
- [3] F. Chapeau-Blondeau, "Optimized probing states for qubit phase estimation with general quantum noise," *Physical Review A*, vol. 91, nb. 052310, 1–13, 2015.
- [4] S. E. Venegas-Andraca, "Introductory words : Special issue on quantum image processing published by Quantum Information Processing," *Quantum Information Processing*, vol. 14, pp. 1535–1537, 2015. ■