

Le calcul quantique photonique

Sabine MEHR

QUANDELA



TQCI
31 mars 2022

Calcul photonique: deux écoles

VARIABLES DISCRÈTES



- Encode l'information **sur des photons uniques**
- Schémas de calcul quantique **universel** depuis 2001 (KLM) - **calcul linéaire (LOQC)**
- Road-map pour **passage à l'échelle** par **calcul quantique basé sur la mesure - MBQC**
- Démonstrations de calcul en laboratoire jusqu'à 20 qubits (2019) (linéaire)

VARIABLES CONTINUES



- Encode l'information **sur les caractéristiques du champ lui même**
- Particulièrement adapté pour les calculs de type échantillonnages
- Road map **en cours de développement** pour calcul universel.
- **Très sensible aux pertes optiques**

Avantage quantique démontré en 2020 avec une approche hybride



Variables discrètes

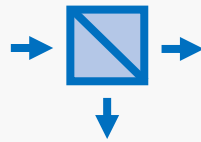
LE PHOTON

- Sans charge
 - Sans masse
 - Connectivité "all-to-all"
- Temps de cohérence infini

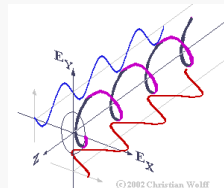


ENCODAGE

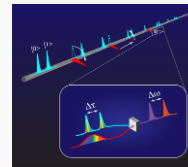
- ✓ en chemin



- ✓ en polarisation



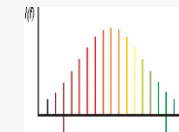
- ✓ en temps



- ✓ en moment orbital angulaire

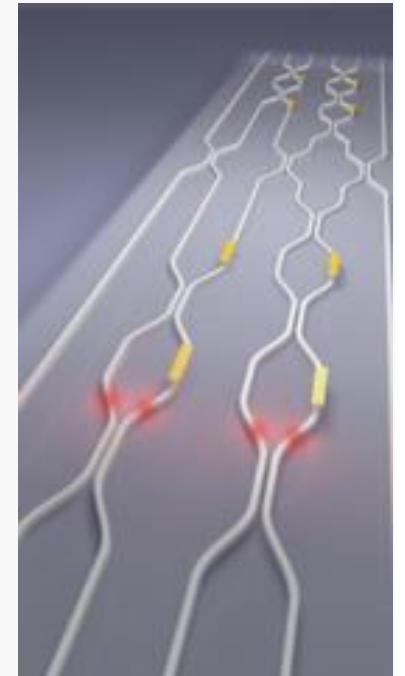


- ✓ en énergie



- ✓ en nombre de photons

$$\sqrt{p_0}|0_a\rangle + \sqrt{p_1}e^{i\alpha_1}|1_a\rangle$$



Variables discrètes

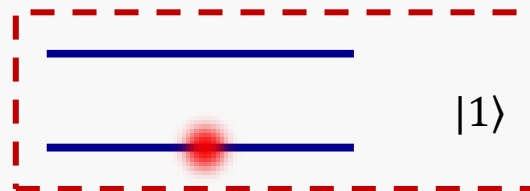
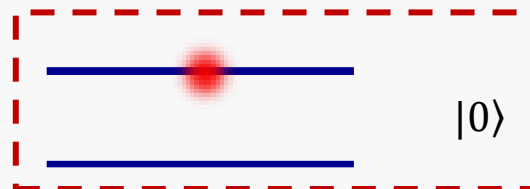
Encodage en chemin

LE PHOTON

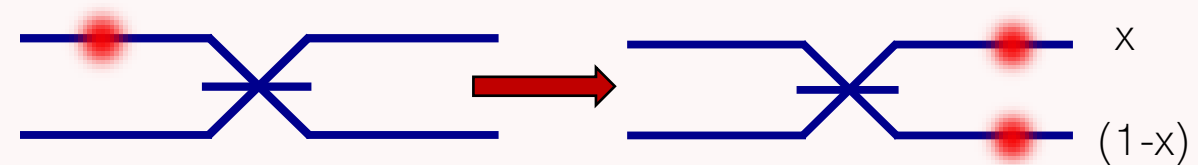
- Sans charge
 - Sans masse
 - Connectivité "all-to-all"
- Temps de cohérence infini



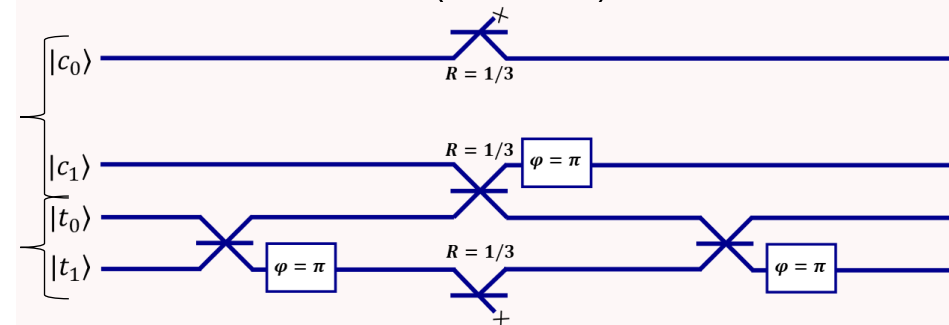
ENCODAGE EN CHEMIN



PORTE À 1 QUBIT



PORTE 2 QUBIT (CNOT)

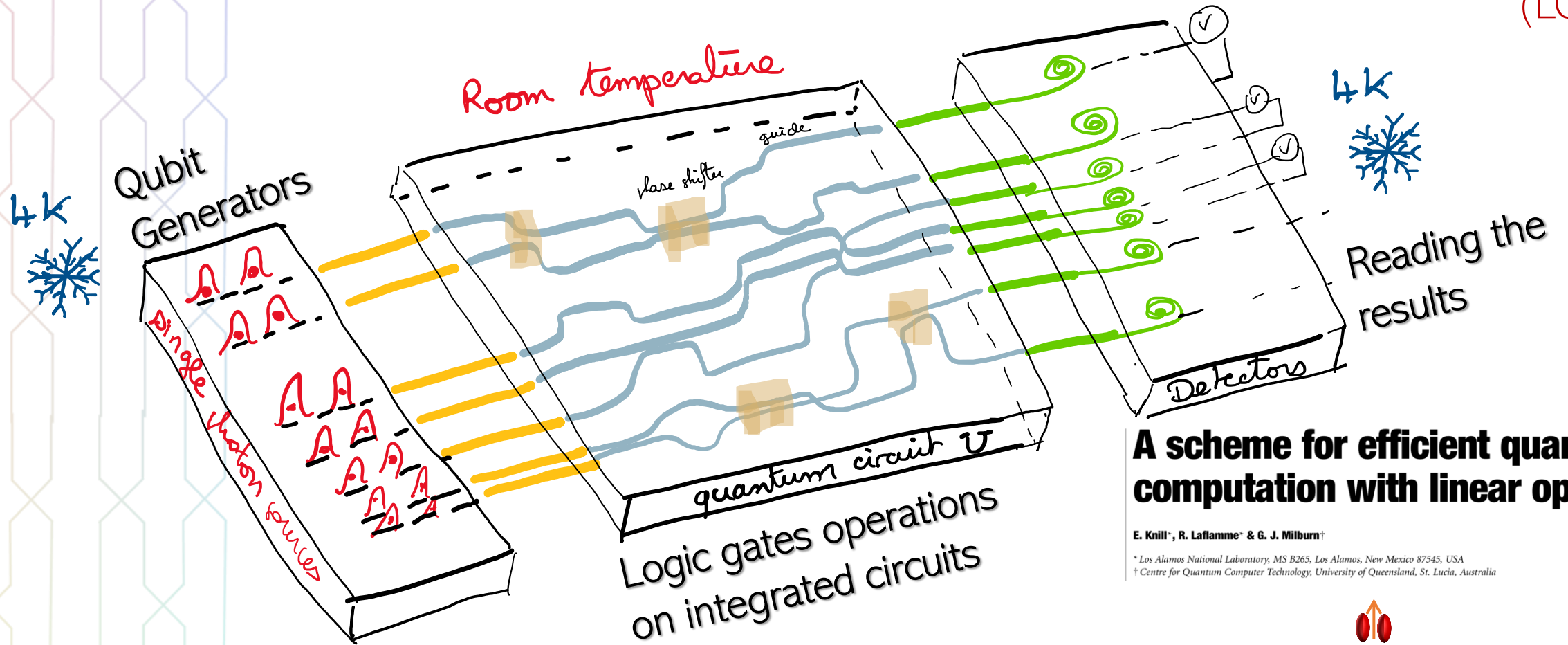


Variables discrètes

NISQ

Les composants de l'ordinateur quantique optique

Calcul Quantique basé sur l'Optique Linéaire
(LOQC)

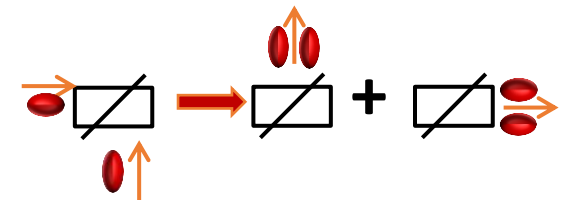


A scheme for efficient quantum computation with linear optics

E. Knill*, R. Laflamme* & G. J. Milburn†

* Los Alamos National Laboratory, MS B265, Los Alamos, New Mexico 87545, USA

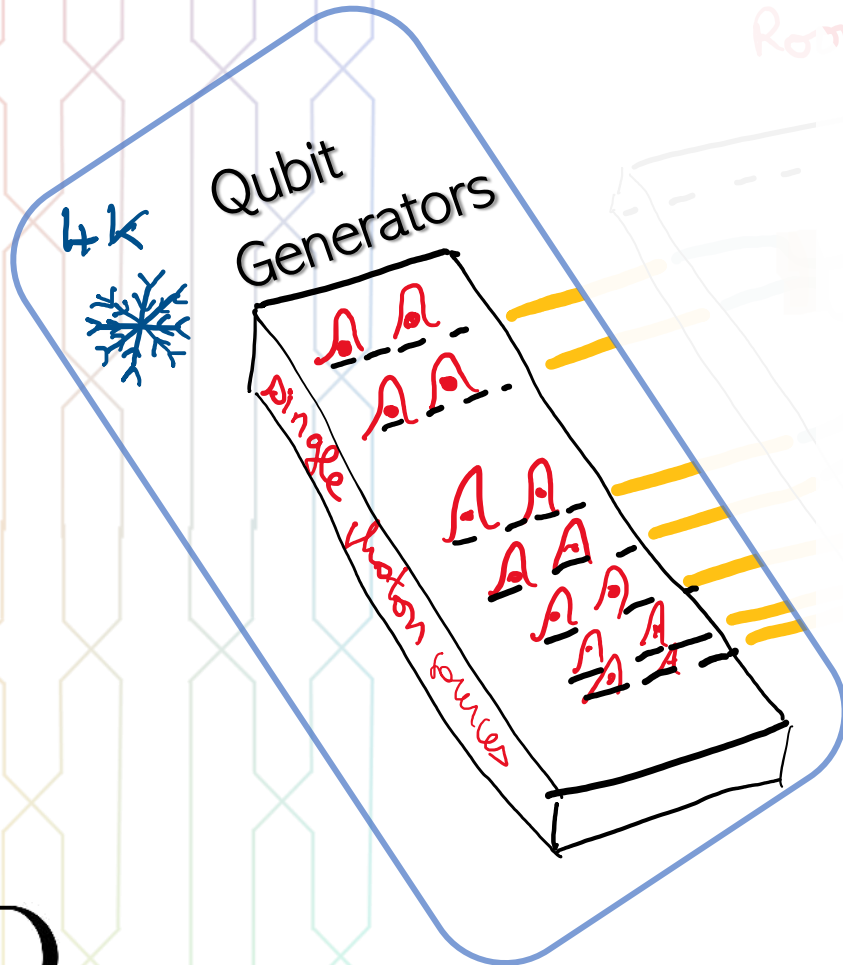
† Centre for Quantum Computer Technology, University of Queensland, St. Lucia, Australia



Variables discrètes

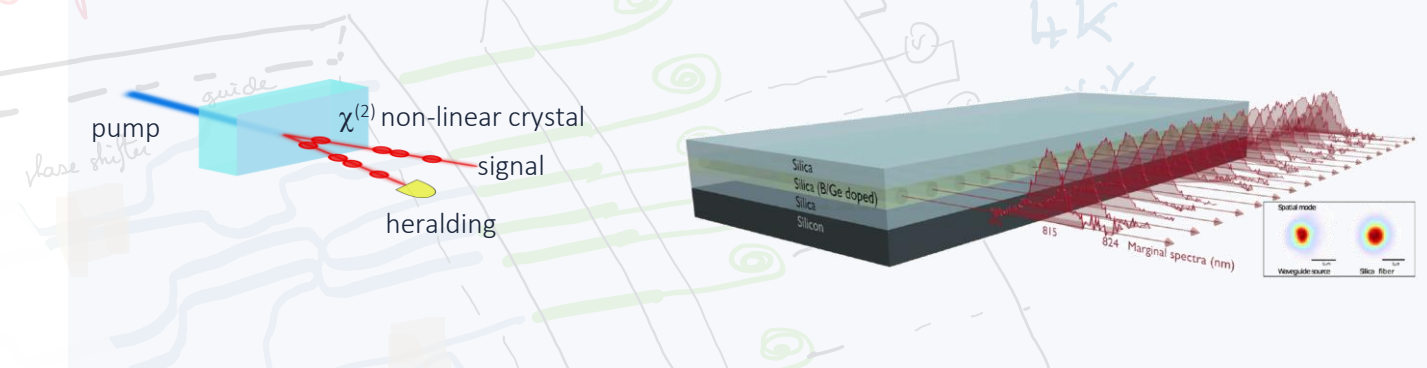
NISQ

Sources de photon unique: deux écoles



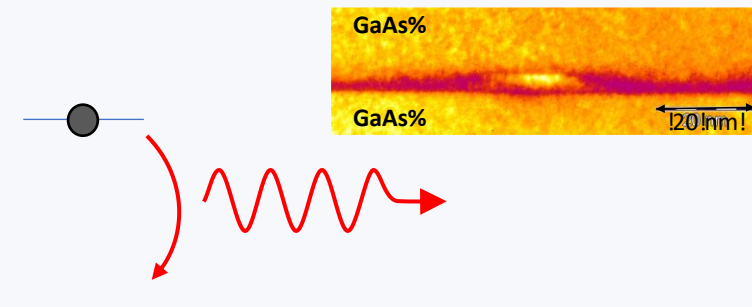
SOURCES ANNONCÉES MULTIPLEXÉES

Intégration massive d'un grand nombre de sources + détecteurs + routeurs



SOURCES À LA DEMANDE

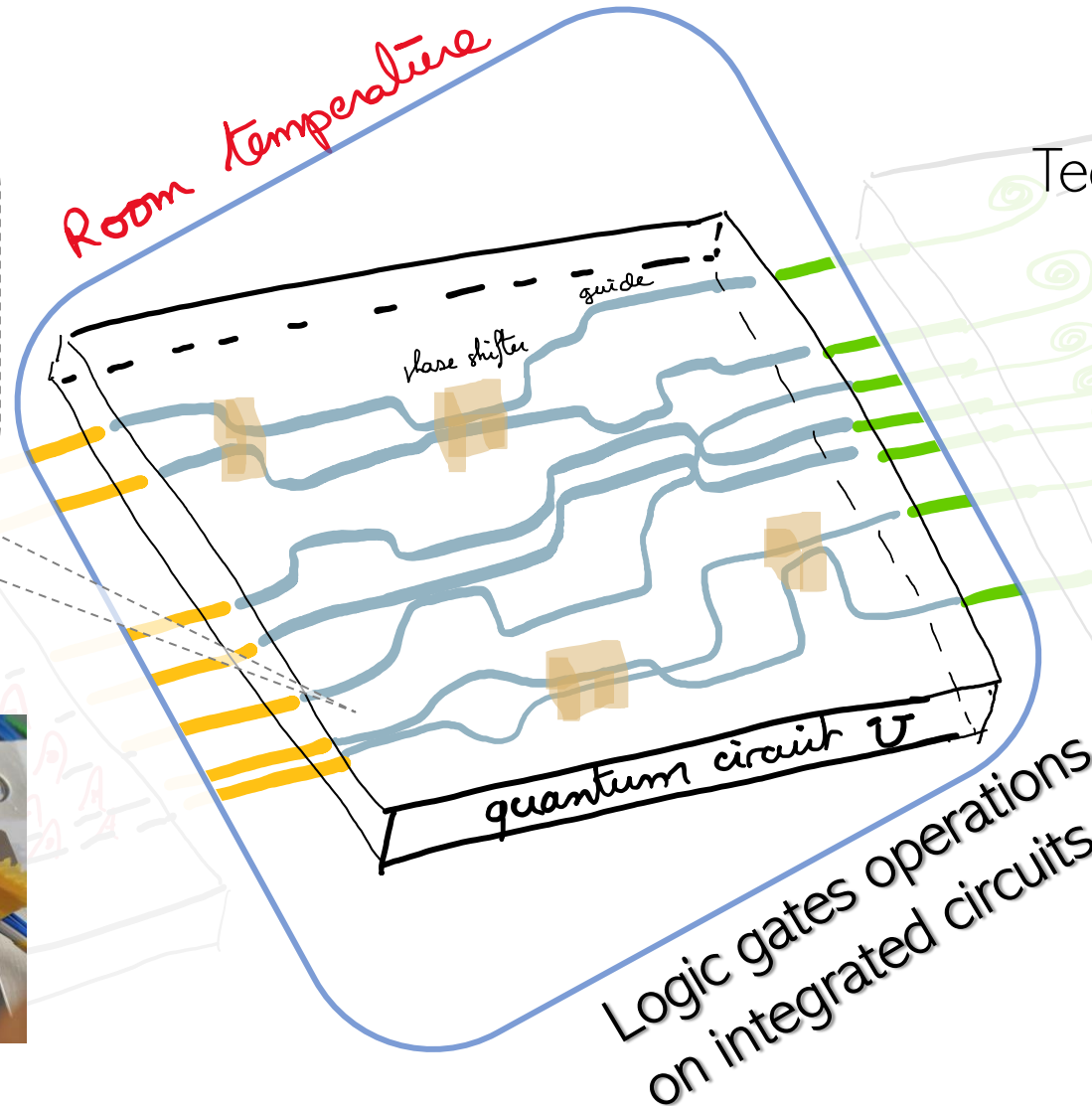
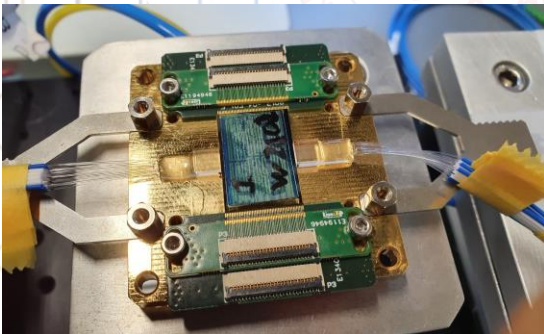
Utilisation d'une boîte quantique
Ordinateur quantique modulaire



Variables discrètes

NISQ

- Silice
- Nitrure de Silicium
- Carbure de Silicium



Technologie semiconductrice
Evolutive

- Fin 2022: 6 qubits
- 2024: 24 qubits



Variables discrètes

NISQ

ATOUS

DEFIS

FORCES

- Temps de cohérence infini
- Traitement information à **température ambiante**
- Qubits volants: modularité et interconnexion

OPPORTUNITÉS

- **Industrie photonique** très développée (détecteurs, lasers, photonique sur puce)
- Ordinateur photonique quantique compatible avec un **réseau quantique**

FAIBLESSES

- Porte à 2-qubit **probabiliste**
- Nécessite des commutateurs et électronique **rapides**

MENACES

- **Manque de soutien financier** au niveau européen vs. Chine et Amérique du Nord
- Besoin de compatibilité **assembleurs** et **compilateurs** des autres technologies quantiques

INTERNE

EXTERNE



Variables discrètes

NISQ

ATOUS

DEFIS

FORCES

- Temps de cohérence infini
- Traitement information à **température ambiante**
- Qubits volants: modularité et interconnexion

OPPORTUNITÉS

- **Industrie photonique** très développée (détecteurs, lasers, photonique sur puce)
- Ordinateur photonique quantique compatible avec un **réseau quantique**

FAIBLESSES

- Porte à 2-qubit **probabiliste**
- Nécessite des commutateurs et électronique **rapides**

MENACES

- **Manque de soutien financier** au niveau européen vs. Chine et Amérique du Nord
- Besoin de compatibilité **assembleurs** et **compilateurs** des autres technologies quantiques

INTERNE

EXTERNE

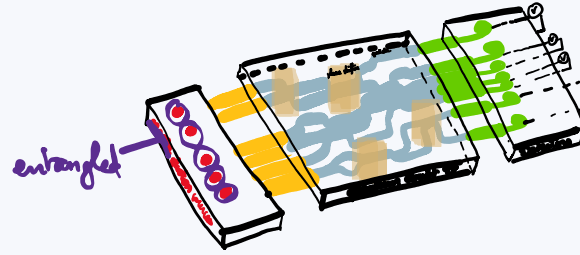
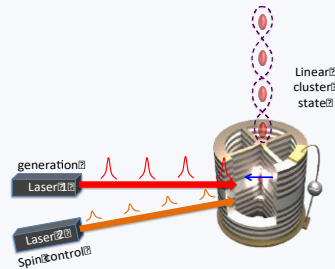


Plusieurs approches tolérantes à l'erreur

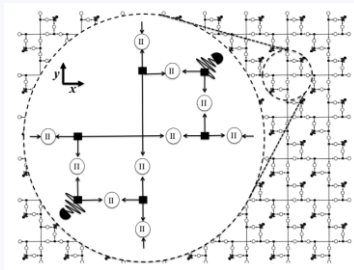
Variables discrètes

FTQC

CALCUL BASÉ SUR LA MESURE (MBQC)

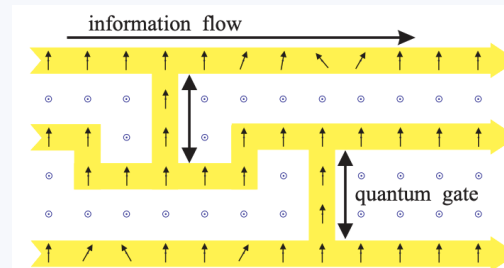


Approche **déterministe** (non probabiliste) et correction d'erreurs

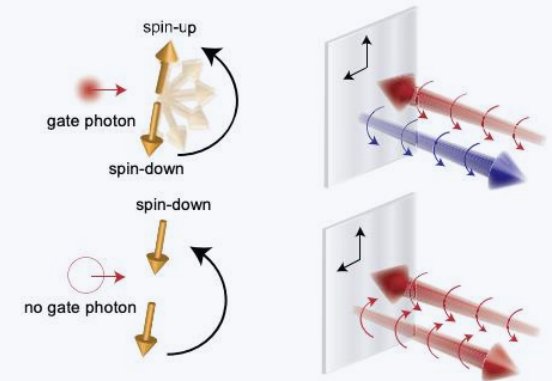


*R. Raussendorf, D.E. Browne, H.J. Briegel
Phys. Rev. A 68, 022312 (2003)*

*APL Photonics 2, 030901 (2017)
Terry Rudolph*



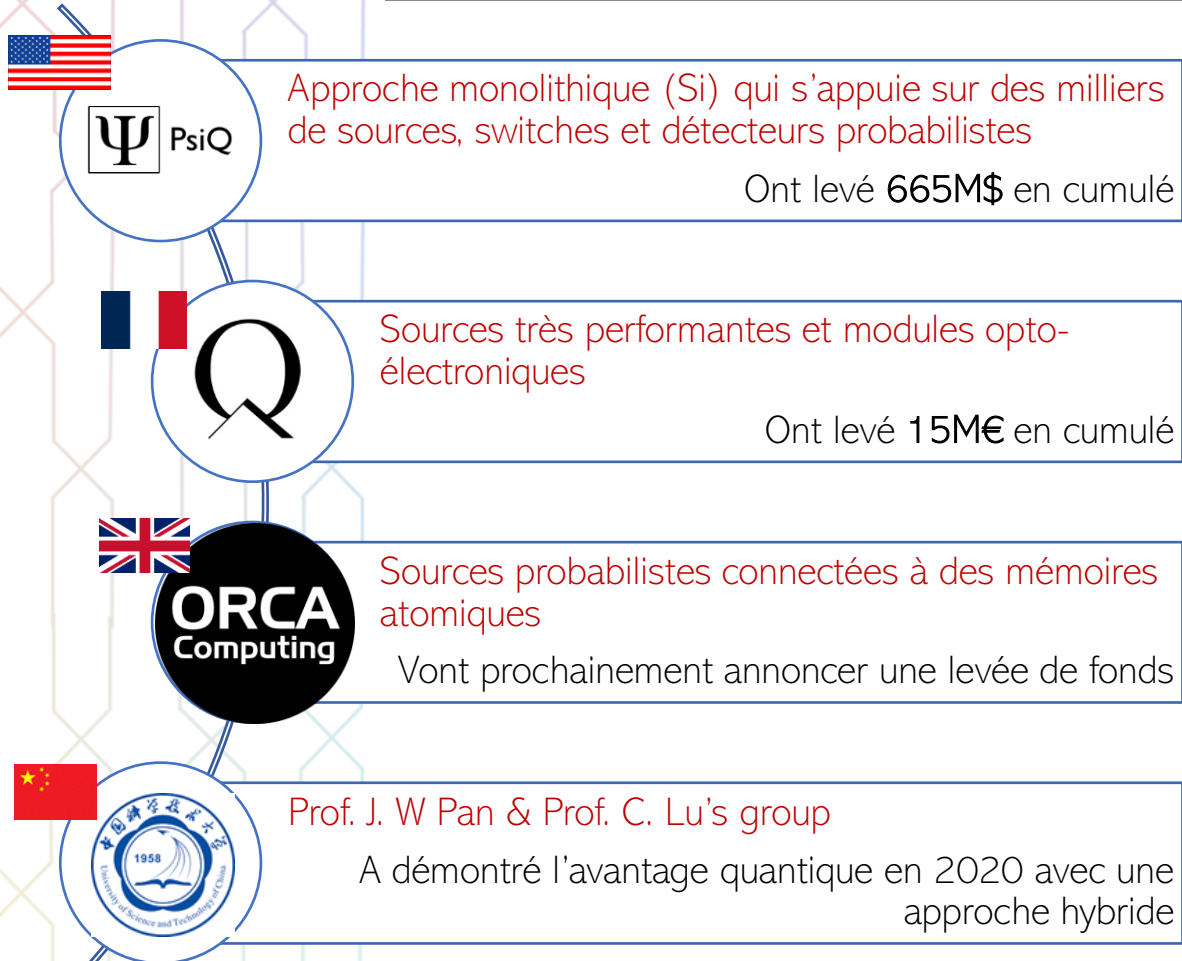
CALCUL NON LINÉAIRE



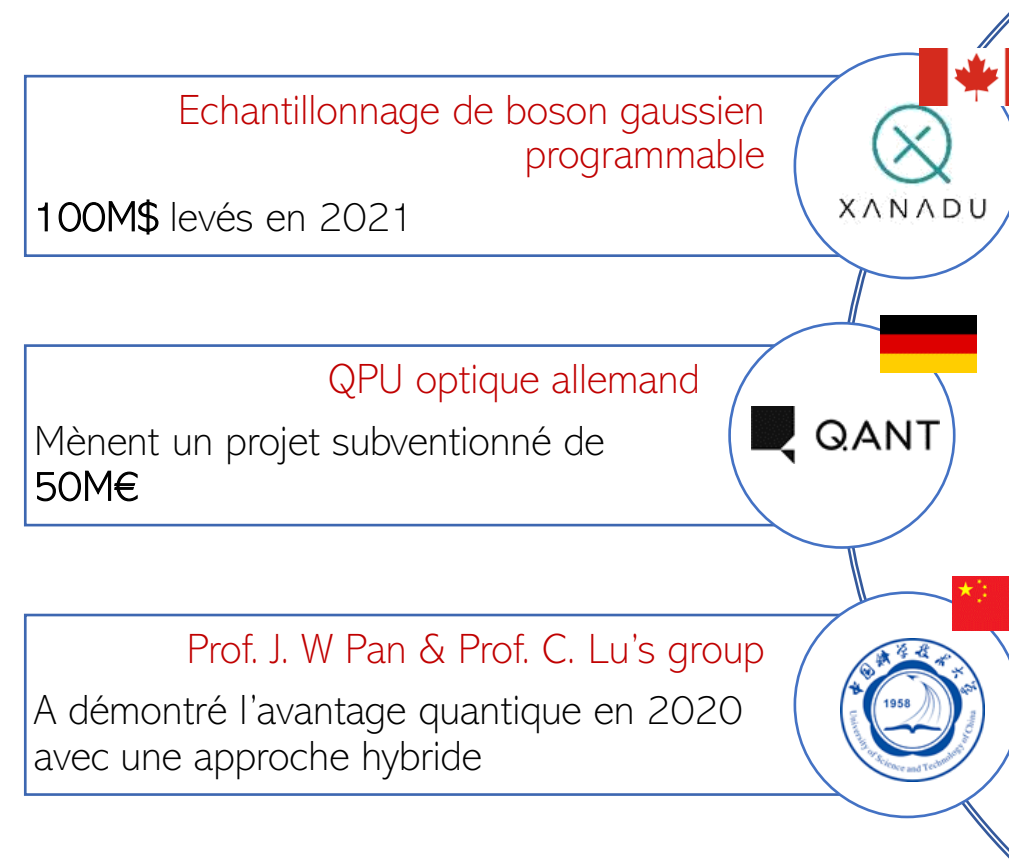
*S. Sun et al.,
Science 361, 57 (2018)*

Calcul photonique: un écosystème en plein essor

VARIABLES DISCRÈTES



VARIABLES CONTINUES



Calcul photonique: un écosystème en plein essor

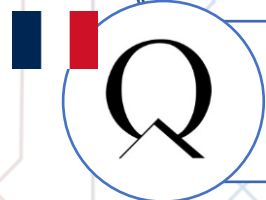
VARIABLES DISCRÈTES

VARIABLES CONTINUES



Approche monolithique (Si) qui s'appuie sur des sources, switches et détecteurs photoniques

Ontario



Sources très performantes et miniaturisées pour les circuits électroniques

Ontario



Sources probabilistes connectées pour les calculs atomiques

Vont prochainement



Prof. J. W. Pan & Prof. C. Lu

A démontré l'avantage



Age de bosons gaussien programmable

2021



PU optique allemand

subventionné de



C. Lu's group

en 2020



Efficient approximation of experimental Gaussian boson sampling

Benjamin Villalonga,¹ Murphy Yuezhen Niu,¹ Li Li,² Hartmut Neven,¹ John C. Platt,³ Vadim N. Smelyanskiy,¹ and Sergio Boixo^{1, *}

¹Google Quantum AI, Venice, CA 90291, USA

²Google Research, 1600 Amphitheatre Parkway, Mountain View, California 94043, USA

³Google, 601 N 34th St, Seattle, WA 98103, USA

(Dated: September 24, 2021)

MERCI

QUANDELA



Découvrez Perceval