

# Proposition de sujet de thèse- 2023

**Titre: Unités Arithmétiques et Logiques (ALU) plasmoniques monolithiques à lecture STIRAP**

**Encadrant(s): Gérard COLAS des FRANCS et Erik DUJARDIN**

Laboratoire : ICB

**Résumé :** L'un des composants principaux des processeurs de nos équipements électroniques est l'Unité Arithmétique et Logique (ALU). C'est la partie dédiée au calcul. Elle se construit sur une combinaison de portes logiques qui traitent un signal binaire et réalisent des opérations booléennes. Par exemple, la porte AND ( $\wedge$ ) réalise les opérations suivantes  $0\wedge 0 = 0$ ;  $0\wedge 1 = 0$ ;  $1\wedge 0 = 0$ ;  $1\wedge 1 = 1$  et la porte XOR ( $\oplus$ ) donne  $0\oplus 0 = 0$ ;  $0\oplus 1 = 1$ ;  $1\oplus 0 = 1$ ;  $1\oplus 1 = 0$ . L'association d'une porte AND et XOR forme un additionneur 2x1 bits. En sortie, le 1<sup>er</sup> bit (AND) est la retenue et le 2<sup>e</sup> (XOR) est la somme :  $0+0 = 00$  ;  $0+1 = 01$  ;  $1+0 = 01$  ;  $1+1=10$ . Ce qui donne l'addition de deux nombres binaires ( $1+1=2$  qui s'écrit 10 en base 2). Selon le paradigme de Shannon, un calcul complexe peut être obtenu par la concaténation de fonctions élémentaires simples que la microélectronique réalise avec des circuits transistors. Or ces circuits exigent une multitude de fils d'interconnexion qui sont désormais le siège principal de la dissipation d'énergie. Cette perte de performances incite à explorer des paradigmes différents du traitement de l'information, moins gourmands en énergie et potentiellement plus robustes dans des conditions extrêmes. Si on considère en outre le besoin croissant d'augmenter la bande passante, les dispositifs "tout optique" permettraient d'atteindre un très haut débit (THz) inaccessible à la microélectronique (GHz). Sur une proposition radicalement neuve que nous avons faite en 2013 [1], nous avons récemment démontré expérimentalement la réalisation simultanée et la reconfiguration de portes simples (OR, AND, etc) à 2 ou 3 bits d'entrée et celle d'un additionneur 2x1bit dans des cavités plasmoniques 2D monolithiques de moins de  $3 \mu\text{m}^2$  d'empreinte [2]. Les bits d'entrée sont encodés par la polarisation de l'excitation laser et les bits de sortie par l'intensité du signal de luminescence non linéaire. Cette plateforme plasmonique offre la possibilité d'explorer, lors de cette thèse théorique et numérique, un nouveau mode d'opération des cavités plasmoniques qui permettra d'implémenter des calculateurs quantiques optiques intégrés.

Dans ce contexte, ce projet de thèse vise (1) à la conception d'ALU plasmoniques monolithiques miniaturisées pour réaliser des fonctions complexes tout optique sans cascader plusieurs portes et (2) à démontrer un mode opératoire par STIRAP qui permettrait de traiter une information quantique portée par des photons intriqués. Pour cela, la lecture de l'ALU sera réalisée par effet STIRAP entre des émetteurs quantiques couplés aux cavités plasmoniques 2D. Un tel transfert adiabatique a été démontré pour des nanosphères isotrope et des nanofils 1D [3,4]. Formellement, ce mode STIRAP est décrit par un hamiltonien effectif qui se rapproche de celui utilisé en calcul hamiltonien quantique moléculaire (QHC) [5]. Cette analogie sera examinée afin d'aider à concevoir la forme de la cavité 2D pertinente pour réaliser une fonction booléenne choisie. Le formalisme QHC développé pour les ALU en électronique monomoléculaire sera ici appliqué pour la première fois à l'ingénierie des modes plasmons 2D.

[1] *Tailoring and imaging the plasmonic local density of states in crystalline nanoprisms*, Viarbitskaya et al, Nature materials **12**, 426 (2013)

[2] *Interconnect-Free Multibit Arithmetic and Logic Unit in a Single Reconfigurable  $3 \mu\text{m}^2$  Plasmonic Cavity*, Kumar et al, ACS nano **15**, 13351 (2021)

[3] *Quantum emitters coupled to surface plasmons of a nanowire: A Green's function approach*, Dzsotjan et al, Phys. Rev. B **82**, 075427 (2010).

- [4] *Adiabatic passage mediated by plasmons: A route towards a decoherence-free quantum plasmonic platform*, B. Rousseaux et al, Phys. Rev. B 93, p. 045422 (2016). Erratum Phys. Rev. B 94, 199902 (2016)
- [5] *Quantum Hamiltonian Computing protocols for molecular electronics Boolean logic gates* Namarvar et al, Quantum Sci. Technol. 4, 035009 (2019).

**Connaissances requises** : Nanophotonique, optique quantique. Ce sujet s'adresse principalement aux étudiants ayant validé une formation de Master en Physique ou équivalente.