

Titre de la these : Modélisation de la photoluminescence dans des cavités plasmoniques bidimensionnelles**Encadrant(s) :** Gérard COLAS des FRANCS (ICB, Dijon France)
Yonatan SIVAN (Ben Gurion University, Israël)**Laboratoire :** ICB

Les nanostructures métalliques supportent des plasmons-polaritons de surface (SP), qui couplent les oscillations collectives des électrons libres du métal (plasmon) à une onde électromagnétique (polariton). Les SP permettent un confinement sub-longueur, ce qui présente un grand intérêt pour les dispositifs tout-optiques compacts intégrés sur puce.

Nous développons des ALU (unités arithmétiques et logiques) basées sur les SP qui exécutent des fonctions booléennes complexes choisies (portes logiques AND, OR, XOR, etc.). Celles-ci sont plus petites et potentiellement beaucoup plus rapides que les microprocesseurs électroniques. Récemment, nous avons mis en œuvre des portes logiques 2 bits et un additionneur complet 1 bit sur une seule structure plasmonique reconfigurable [1,2]. Les informations booléennes d'entrée sont portées par la polarisation d'une impulsion infrarouge qui est traitée par les modes SP aux ports de sortie où elles sont converties en signaux de sortie booléens encodés dans la réponse de photoluminescence non linéaire (NPL). Pour modéliser ce processus complexe, nous avons réalisé des simulations numériques de la réponse de transmittance plasmonique linéaire en champ proche et un modèle phénoménologique pour la conversion des cartes de champ proche en cartes NPL (voir fig. 3 et informations supplémentaires de la réf. [2]). Bien que cela permette une interprétation qualitative des images NPL mesurées, un modèle plus quantitatif est nécessaire pour calculer avec précision la transmittance non linéaire des ALU plasmoniques. De plus, cela nous permettra de développer, en collaboration avec notre partenaire (le laboratoire CIAD de Dijon), une intelligence artificielle hybride qui associe l'apprentissage automatique fondé sur la physique à des stratégies évolutives. Cela conduira à mettre en place une procédure d'optimisation réaliste et d'étendre notre approche à des unités de calcul tout-optiques plus complexes.

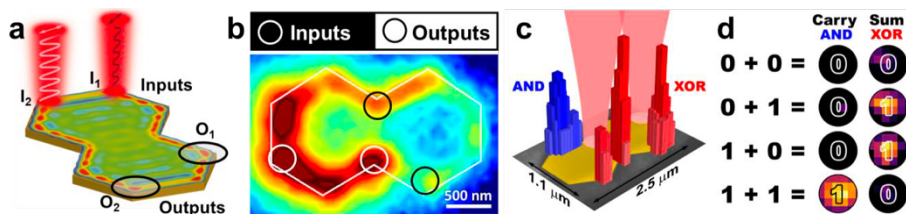


Figure 1. (a) Schéma d'une ALU plasmonique à double hexagone (DH) comportant 2 entrées (I_1 , I_2) et 2 sorties (O_1 , O_2). Le SP est représenté en filigrane dans la structure. (b) Réponse optique NPL expérimentale (« 0 » ou « 1 ») d'un dispositif DH en or. (c, d) Sortie expérimentale des signaux AND et XOR générés simultanément. (d) La double lecture pour les quatre configurations d'excitation permet de réaliser l'additionneur complet de deux bits dans le même DH.

La photoluminescence des métaux nobles est un phénomène bien connu, mais son mécanisme de génération, en particulier dans le cas d'une excitation pulsée, est débattue [3,4]. Des progrès significatifs ont été réalisés récemment, principalement pour une excitation uniforme et en régime continu [5-9]. Plus précisément, une formule établit la probabilité d'émission d'un électron excité dans le métal. Cette formule ne nécessite que la connaissance du champ électrique local et de la température des électrons. L'extension heuristique de la modélisation NPL de l'excitation continue à l'excitation pulsée s'effectue généralement en considérant une approximation quasi-stationnaire avec une distribution des électrons dépendante du temps. Afin de prédire plus précisément l'émission de lumière non linéaire provenant des cavités ALU et de l'étendre à des scénarios d'excitation non uniforme du système plasmonique (voir Fig. 1(a)), nous étendrons l'approche analytique de l'état stationnaire (illumination en ondes continues) au cas transitoire (illumination pulsée) en suivant la dynamique de la distribution des électrons, du champ et de la température des électrons pour chaque intensité et durée d'impulsion d'excitation. Nous combinerons également les connaissances sur les propriétés de transport des électrons non thermiques afin de tenir compte de la nature délocalisée de l'émission observée expérimentalement.

References

- [1] *Interconnect-free Multibit Arithmetic and Logic Unit in a Single Reconfigurable 3 μm^2 Plasmonic Cavity*, Kumar *et al*, ACS Nano **15**, 13351 (2021)
- [2] *Compact implementation of a 1-Bit Adder by Coherent 2-Beam Excitation of a single Plasmonic Cavity*, Dell'Ova *et al*, ACS Photonics **11**, 752 (2024)
- [3] *Dynamics, Efficiency, and Energy Distribution of Nonlinear Plasmon-Assisted Generation of Hot Carriers*. Demichel *et al*, ACS Photonics **3**, 791–795 (2016)
- [4] *Spatial Distribution of the Nonlinear Photoluminescence in Au Nanowires*, Agreda *et al*, ACS Photonics **6**, 1240 (2019)
- [5] *“Hot” electrons in metallic nanostructures – non-thermal carriers or heating ?* Y. Sivan, Y. Dubi, Light Science & Applications **8**, 89 (2019)
- [6] *Theory of “Hot” Photoluminescence from Drude Metals*, Y. Sivan, Y. Dubi, ACS Nano **15**, 8724–8732 (2021)
- [7] *Nonlinear Photoluminescence in Gold Thin Films* Rodriguez-Echarri *et al*, ACS Photonics **10**, 2918–2929 (2023)
- [8] *Theory of photoluminescence by metallic structures* A. Loirette-Pelous, J.-J. Greffet, ACS **18**, 31823 (2024)
- [9] *Photoluminescence from Metal Nanostructures: Dependence on Size* I. Kalyan, I-W. Un, G. Rosolen, N. Shitrit, and Y. Sivan, ACS Nano **19**, 29181–29194 (2025)

Type de projet (théorique / expérimental): théorique et simulations numériques

Pré-requis : nanophotonique

Financement : ANR (acquis) , 2200 €/mois (brut)

Date de démarrage : septembre ou octobre 2026

Candidature : Envoyer avant le 31 **Mai** Gérard Colas des Francs (gcolas@ube.fr) : un CV, une lettre de motivation, un contact pour une recommandation, le diplôme de master ou équivalent