**Titre:** Optique nonlinéaire intégrée sur guides d'ondes hybrides graphène/$Si\_{3}N\_{4}$ autour de $λ=1.5µm$

**Title**: Nonlinear integrated optics on hybrid graphene/$Si\_{3}N\_{4}$ waveguides around $λ=1.5µm$

**Mots-clefs: photonique, optique nonlinéaire, graphène, guides d’ondes, Nitrure de silicium, télécom**

**Key words: photonic, nonlinear optics, graphene, waveguides, silicon nitride, telecom**

**Résumé**

Le graphène, feuillet de carbone monoatomique possède des caractéristiques inhabituelles qui en ont un candidat de premier plan pour l'exploration de nouveaux phénomènes physiques mais aussi pour la prochaine génération de dispositifs microélectroniques et photoniques. En parallèle, les avancées de ces dernières décennies en optique intégrée ont permis le développement de dispositifs compacts et de plus en plus performants, en particulier pour les technologies de l'information. L'exploitation de phénomènes optiques nonlinéaires vient diversifier les fonctionnalités des dispositifs actuels, en permettant par exemple la conversion de longueur d'onde ou la génération de sources large bande sur puce, qui pourraient sous-tendre des technologies de traitement de signaux lumineux ultra-rapides à contrôle optique. Néanmoins, les plateformes couramment utilisées pour la photonique nonlinéaire intégrée (comme le silicium) ont certaines limitations, aux longueurs d'ondes télécom, empêchant leur utilisation massive au niveau industriel.

Certaines études ont montré qu'un feuillet de graphène isolé présentait des propriétés nonlinéaires remarquables. Celles-ci pourraient être exploitées pour réaliser des dispositifs nonlinéaires intégrés efficaces, en le combinant à des technologies déjà maitrisées. En tant que matériau à deux dimensions, son intégration sur un dispositif photonique est relativement simple, tandis que les approches d'optique intégrée sont capables d'accroitre l'interaction entre la lumière et le graphène, naturellement restreinte en raison de sa faible dimensionnalité. Le développement de structures hybrides à base de graphène laisse donc présager d'une nouvelle génération de dispositifs photoniques avec des performances supérieures à celle des dispositifs actuels.

La réponse nonlinéaire du graphène, pertinente pour ces applications, est cependant loin d'être élucidée à l'heure actuelle. Ce travail de thèse s'est focalisé sur l’étude des propriétés nonlinéaires du graphène dans des guides d'ondes hybrides graphène/$Si\_{3}N\_{4}$. Plusieurs expériences de caractérisation par auto-modulation de phase, et mélange à quatre ondes ont été réalisées, aux longueurs d'onde télécom ($λ=1.5µm$), pour approfondir notre compréhension de la signature nonlinéaire du graphène, dans ces structures hybrides guidées. L'absorption saturable mais également les effets nonlinéaires photoréfractifs du graphène ont ainsi été étudiés, pour des impulsions proche-infrarouge de durée et puissance variable. Ces études expérimentales, corroborées à des simulations, ont permis de mieux appréhender le comportement du graphène en optique intégrée, dans des conditions proches de celles des applications visées.

**Abstact**

Graphene, a monoatomic carbon sheet, possesses unusual characteristics that make it a leading candidate for the exploration of new physical phenomena and for the next generation of microelectronic and photonic devices. In parallel, the advances of the last decades in integrated optics have enabled the development of compact and more and more effective devices, in particular for information technologies. The exploitation of nonlinear optical phenomena diversifies the functionalities of current devices, allowing for example wavelength conversion or the generation of broadband sources on-chip, which could underpin ultra-fast light signal processing technologies with optical control. Nevertheless, the platforms commonly used for integrated nonlinear photonics (such as silicon) have certain limitations, at telecom wavelengths, preventing their massive use at the industrial scale.

Some studies have shown that an isolated graphene sheet presents remarkable nonlinear properties. These could be exploited to realize efficient integrated nonlinear devices, by combining it with already mastered technologies. As a two-dimensional material, its integration on a photonic device is relatively simple, while integrated optics approaches are able to enhance the interaction between light and graphene, which is naturally weak due to its low dimensionality. The development of graphene-based hybrid structures could therefore suggest a new generation of photonic devices with higher performance than current devices.

The nonlinear response of graphene, relevant for these applications, is however far from being elucidated at the present time. This thesis work focused on the study of the nonlinear properties of graphene in hybrid graphene/$Si\_{3}N\_{4}$ waveguides. Several characterization experiments by phase self-modulation and four-wave mixing have been performed at telecom wavelengths ($λ=1.5µm$) to deepen our understanding of the nonlinear signature of graphene in these hybrid guided structures. The saturable absorption but also the photorefractive nonlinear effects of graphene have been studied, for near-infrared pulses of variable duration and power. These experimental studies, corroborated with simulations, have allowed to better understand the behavior of graphene in integrated optics, under conditions close to those of the targeted applications.