



## La fluorescence contrainte dans les écailles des papillons : un modèle pour de nouveaux dispositifs photoniques ?

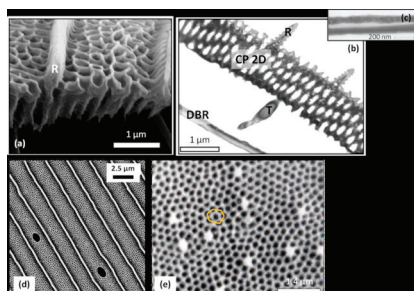
**Des chercheurs de l'équipe « Nanostructures et optiques » de l'INSP étudient les structures photoniques fluorescentes développées par certains insectes. Généralement, ces structures ont la fonction d'interface entre l'animal et le monde extérieur et participent à plusieurs fonctions vitales. Certaines espèces ont ajouté à leur palette lumineuse la fluorescence contrainte, c'est-à-dire générée au sein même du cristal photonique. Ce phénomène constitue une importante source d'inspiration pour les chercheurs et ingénieurs dans de nombreux domaines comme les biocapteurs, les cellules photovoltaïques de nouvelle génération, les fibres optiques structurées...**



**Figure 1**  
*Papilio nireus* (mâle), face dorsale

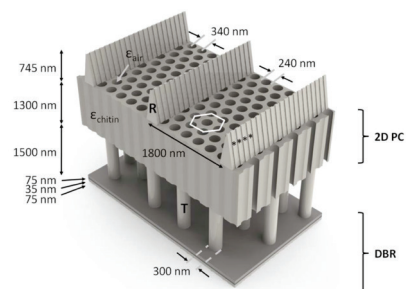
Les structures photoniques produisent des effets colorés intenses et visibles de loin, mais souvent très directs, ce qui peut nuire à l'efficacité de la communication. Certains papillons ont contourné ce problème en combinant aux effets diffractifs classiques une émission de fluorescence qui modifie fortement, tant spatialement que spectralement, le message coloré émis. Le papillon africain *Papilio nireus* illustre parfaitement cette fluorescence contrainte (Figure 1).

Les chercheurs ont observé que la membrane supérieure des écailles de l'aile de ce papillon est composée de cylindres creux en configuration hexagonale, enserrés dans un réseau de stries parallèles. L'ensemble est maintenu à distance d'un empilement de couches minces, formant un miroir de Bragg, par un réseau désordonné de piliers verticaux (Figure 2).



**Figure 2**

(a) MEB : vue latérale de la membrane supérieure - (b) TEM : coupe transversale d'une écaille - (c) TEM : coupe de la membrane inférieure - (d) MEB : surface supérieure de l'écaille - (e) MEB : organisation hexagonale des cylindres dans l'espace inter-strie.



Des molécules fluorescentes sont présentes dans cette structure. Leur pic d'émission se situe dans le bleu – vert aux environs de 505 nm, et le pic d'excitation dans le violet, à 420 nm. Le calcul de structure de bandes photoniques révèle l'existence d'un gap complet entre 455 nm et 545 nm, qui enserme le spectre d'émission mais pas celui d'excitation. Cette organisation complexe permet d'optimiser trois fonctions vitales pour l'insecte :

- **L'absorption du rayonnement solaire**

La structure favorise l'absorption des rayonnements ultraviolets et violets, ce qui augmente sensiblement l'émission des fluorophores. Elle permet également l'absorption des rayonnements rouges et infrarouges qui participent à la thermorégulation de l'insecte.

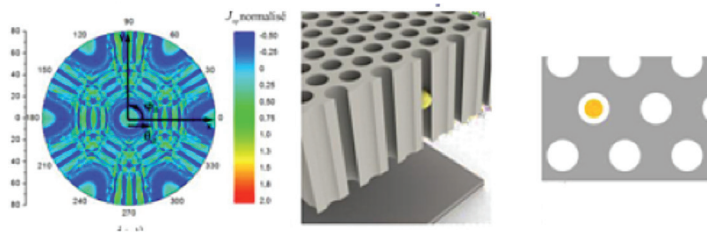
- **La diffraction des rayonnements bleu et vert**

Le gap complet entre 455 nm et 545 nm bloque la propagation de ces ondes dans la structure qui les réfléchit quelque soit leur incidence. Ces bandes bleu-vert sont la signature de l'espèce.

- **L'émission**

La structure influence fortement l'émission de fluorescence, à la fois dans sa répartition spatiale et sa composition spectrale.

D'un point de vue spatial et quelque soit la localisation des fluorophores, l'émission de fluorescence est privilégiée selon des directions bien particulières, près de la normale de l'aile et à très fortes incidences (Figure 3).



**Figure 3**

(a) Diagrammes du flux d'énergie électromagnétique émis lorsqu'une source ponctuelle en coordonnées sphériques est insérée à mi-hauteur (b) du Cristal Photonique Bidimensionnel (CP 2D), au centre des cylindres (c).

D'un point de vue spectral, lorsque les fréquences des ondes émises se trouvent dans le gap de la structure, leur propagation dans le plan de la structure (le plan de l'aile) est fortement freinée, et l'émission hors plan (vers l'extérieur) favorisée. C'est la fonction « communication » qui est ainsi optimisée. À l'inverse, les longueurs d'onde hors gap peuvent se propager dans toutes les directions de l'espace où elles seront fortement absorbées pour assurer le réchauffement de l'insecte.

Cette étude théorique de l'influence de la structure photonique du *Papilio nireus* sur ses propriétés d'absorption et d'émission a permis de mettre en évidence son caractère bi-fonctionnel. Cette structure a deux fonctions à la fois différentes et complémentaires :

- Accroître l'absorption de la lumière incidente ultraviolette ainsi que de la lumière visible et infrarouge, favorisant ainsi les phénomènes de fluorescence et de réchauffement du papillon.
- Renforcer l'émission fluorescente dans certaines directions de l'espace. Cette fonction joue le rôle de filtre passe-bande, sélectionnant ainsi les longueurs d'onde émises.

De telles structures multifonctionnelles, optimisées « en moyenne », pourraient par exemple améliorer les rendements de panneaux photovoltaïques, de diodes électroluminescentes ou de détecteurs, tout en assurant l'auto-nettoyage ou leur stabilisation en température.

### Référence

"Bi-functional photonic structure in the *Papilio nireus* (Papilionidae): modeling by scattering-matrix optical simulations"

Van Hooijdonk, Eloise - Vandembem, Cedric - Berthier, Serge - Vigneron, Jean Pol  
*Optics Express*, vol 20 (2012)

### Contact

Serge.Berthier@insp.jussieu.fr