

## Argumentaire détaillé

### I. Volet enseignement

L'ouverture du poste servirait à assurer une partie des enseignements de "Physique générale" en BA bloc 1 (IrCi, IrAr et IrBio), suite au départ à la retraite de Marc Haelterman. Afin de permettre à la personne engagée de développer une activité de recherche et de participer aux enseignements de master, nous proposons un scénario dans lequel l'autre partie des enseignements de physique générale ainsi que les tâches logistiques de ces enseignements sont assurées par des académiques du service OPERA. De manière plus large, ce scénario vise à garantir l'enseignement d'autres matières couvertes (ou qui étaient couvertes) par Marc Haelterman et Alain Dubus et qui font partie de la base de la formation des IrCi physiciens. Il contribue également à renforcer la visibilité et la cohérence de l'orientation *Quantum engineering and photonics* dans le futur. En effet, suite aux décès d'Alain Dubus et de Jean-Pierre Hermand, mais aussi en raison des départs à la retraite dans les prochaines années de Philippe Emplit, Marc Haelterman, et de notre collègue Michel Godefroid de la Faculté des sciences, la Filière physique est amenée à faire évoluer dans les années à venir le programme des cours en master IrCi physique.

La piste retenue ici pour l'évolution du programme de cours est celle dans laquelle le cours de "Photonic communication systems", actuellement proposé en MA, bloc 2 – Photonics serait mis au programme du MA, bloc 1. Ce cours est assez généraliste et a un contenu technologique important. Il est donc bien indiqué pour étoffer la formation de base des IrCi physiciens et est très complémentaire au cours "Laser physics" qui aborde les aspects de modélisation plus en profondeur. Le cours de "Photonic communication systems" serait alors remplacé dans le module Photonics du MA, bloc2 par un cours de "Quantum light-matter interactions and couplings", dont le titre n'est pas nécessairement définitif et qui traiterait des aspects optiques de la physique du solides ainsi que des interactions lumière-matière au niveau quantique.

Ce cours recouvrirait les aspects suivants :

- Confinement quantique des électrons et des photons, puits quantiques, excitons dans les puits quantiques et couplages, émission
- Laser à cascade quantique
- Points quantiques comme atomes artificiels
- Polaritons
- Caractéristiques des microcavités et des cristaux photoniques
- Propriétés optiques des solides métalliques: réflectivité, transition interbandes, plasmons, plasmons de surface, réfraction négative.

Cette thématique en photonique est à la fois très actuelle et stratégique car les évolutions récentes au niveau théorique et applicatif conduisent au développement de technologies de plus en plus intégrées et/ou faisant appel à des interactions lumière-matière qui découlent directement des effets quantiques. Par ailleurs, certains de ces aspects qui étaient couverts dans les enseignements du cours "Collective and cooperative phenomena in solids" ne le seront plus dans le nouveau programme sans ce cours. Dans la mesure où la Filière physique ne dispose plus des compétences nécessaires pour le donner, ce cours est actuellement pris en charge par une équipe de l'UCL pour une période de deux ans.

À titre de comparaison, ces aspects de la photonique et de la physique du solide sont couverts dans les programmes de cours d'autres écoles d'ingénieurs proposant une formation en photonique (KTH, DTU ou EPFL). Dans le Master conjoint VUB-UGent (ancien programme Erasmus Mundus) une partie de cette matière est également couverte. Cependant, le cours proposé reposerait beaucoup plus sur le formalisme de la mécanique quantique le rendant à la fois complémentaire de l'offre VUB-UGent mais aussi très cohérent par rapport aux spécificités de la formation de nos ingénieurs civils physiciens. Ce cours par excellence permettrait de traiter de questions actuelles en photonique et contribuerait à l'attrait de l'orientation *Quantum engineering and photonics* et plus généralement du master IrCi physique.

## Vue synoptique des enseignements relatifs à l'optique et à la photonique à l'horizon 2024 dans le cas du scénario décrit ci-dessus

### BA, bloc3 – Module physicien

- Éléments d'optique physique : notions et systèmes de base en optique et formalismes propre à l'optique

### MA, bloc 1

- Laser Physics : gain dans la matière, source de lumière hautement technologique
- Photonic devices and systems (anc. Photonic communication systems) : éléments généraux d'un système optique (source, détecteurs, propagation)

### MA, bloc 2 – Photonics

- Nonlinear optics : interaction lumière-matière non linéaire et applications
- Optical material (VUB) : matériaux optiques, propagation dans des milieux particuliers (cristaux liquides, milieux biréfringents) et applications (modulateurs, etc.)
- Quantum light-matter interactions and couplings : cfr supra

### MA, bloc 2 – Quantum applications

- Quantum optics (VUB) : formalisme quantique de l'interaction lumière-matière, systèmes à faible nombre de photons, mesure.

En conclusion, nous proposons le scénario suivant pour l'ouverture de la chaire en physique pour les cours de BA bloc1 et pour les successions actuelles et à venir:

Phys-H1001 et PHYS-H100	Physique générale I	(28-12-20)	- IrCi et IrAr	: PK et SPG <sup>1</sup>
Phys-H1002	Physique générale II	(28-12-20)	- IrCi	: NE
Phys-H1011	Physique générale I	(24-24-12)	- IrAr	: YL
Phys-H1012	Physique générale II	(24-24-12)	- IrAr	: NE
Phys-H302	Elements d'optique physique	(24-12-24)	- IrPhys:	PK et SPG
Phys-H300	Physique des semi-cond...	(36-12-12)	- IrPhys:	YL
Phys-H5xx	Quantum light-matter int...	(36-12-12)	- IrPhys:	NE

1 . NE : Nouvel engagé ; SPG : Simon-Pierre Gorza ; YL : Yves Louis ; PK : Pascal Kockaert

## Synergies avec d'autres facultés et/ou d'autres enseignements

*Avec la Solvay Brussels School of Economics and Management :*

Le scénario proposé ne mentionne pas que les cours de physique du BA bloc 1 et 2 soient repris par des membres actuels du service OPERA-photonique ou le nouvel engagé afin de permettre à ceux-ci de garder un équilibre entre l'enseignement et la recherche d'une part et, d'autre part entre les enseignements en bachelier et en master. Cependant, le service OPERA est disposé à collaborer étroitement avec la/les personnes qui reprendraient ces enseignements, que ce soit au niveau pédagogique (constitution et évolution de syllabus d'exercices communs par exemple), ou au niveau des infrastructures et du matériel pour les travaux pratiques en laboratoire.

*Avec les enseignements de mathématiques pour les ingénieurs :*

Nous sommes tout-à-fait favorables à plus de synergies entre les cours de physique du BA et ceux de mathématiques. Cela pourrait aller de l'élaboration de banques de problèmes types de la physique dont la résolution nécessite l'usage d'outils ou de notions mathématiques particuliers, à l'élaboration de mini-projets conjoints dans le cadre de séances d'exercices, à l'utilisation de notations et d'un langage communs, ainsi qu'à une mise en relation plus explicite des liens entre les cours.

## II. Volet recherche

### Thème de recherche proposé

Nous proposons d'ouvrir une chaire de recherche sur la thématique "Optique quantique et nanophotonique" ou "**Quantum optics and nanophotonics**".

Ce thème de recherche est volontairement ouvert tout en n'étant pas trop large, afin de permettre le recrutement d'un.e candidat.e.

### Caractère stratégique ou innovant de la thématique de recherche proposée

Les avancées technologiques en matière de fabrication ont conduit ces dernières années à l'émergence de structures optiques telles que les cristaux photoniques, les métamatériaux et les matériaux 2D, comme le graphène.

Il y a trois mois, la Commission Européenne a annoncé le lancement d'un programme "Quantum technologies flagship", annonçant la deuxième révolution quantique qui amènera de nouvelles technologies en termes de puissance de calcul, senseurs et métrologie, simulations, cryptographie et télécommunications. Ce programme co-existera avec le "Graphene Flagship".

Ces initiatives européennes montrent que l'intégration des dispositifs, dont font partie les circuits photoniques intégrés, arrive à un point auquel une description quantique des phénomènes est indispensable.

Les chercheurs permanents de notre service ne couvrent pas ces aspects liés à la nanophotonique et à l'optique quantique, même si le cours "quantum optics" du master Européen organisé conjointement par la VUB et l'UGent a été donné entièrement ou *partim* par des chercheurs post-doctorants actifs dans notre équipe (Edouard Brainis et Stéphane Clemmen).

Depuis des années, les structures qui sont réalisées et testées dans notre laboratoire ont été obtenues via des partenariats de recherche, dans la mesure où nous ne disposons pas d'équipement de fabrication. Notre plus-value dans ces partenariats, outre l'équipement et les compétences dont nous disposons au laboratoire est notre capacité à modéliser de manière pointue les dispositifs photoniques. La thématique de recherche proposée nous permettra de maintenir ce rôle et confronter les modèles et l'expérience des dispositifs qui feront la photonique de demain.

Cette thématique de recherche s'intègre parfaitement dans le pôle « Electronics, photonics, telecommunication and control ». Elle permettra de maintenir l'EPB dans un rôle d'acteur principal en matière de photonique, domaine dans lequel notre École ne peut se permettre d'être absente.

### Possibilités d'intégration dans une équipe existante

L'intégration du titulaire de la chaire pourra se faire de manière optimale au sein du groupe de recherche OPERA-photonique, tant en terme de complémentarité au niveau des sujets traités, qu'en terme d'accès au laboratoire existant.

La thématique de l'optique quantique et les aspects quantiques sous-jacents à la photoniques permettront de créer un lien naturel entre OPERA-photonique et le groupe de Physique quantique et physique nucléaire. Elle permettra de pérenniser les liens entre le Laboratoire d'information quantique (Faculté des Sciences, Serge Massar) et le QuIC.

### Moyens de recherche

Les moyens de recherche qui seront mis à disposition du candidat sont l'accès à un laboratoire de recherche en photonique très bien équipé, et une équipe active qui compte en son sein un chercheur permanent dirigeant un ERC. L'accès au logiciel de simulation Lumerical sera également possible.

### Opportunités de recherche contractuelle

Comme mentionné précédemment, le flagship "quantum technologies", s'ajoute aux autres sources de financement habituelles qui permettront de financer les travaux de recherche dans ce domaine.

### Articulation avec les thématiques de recherche de la VUB

Pendant 15 ans, OPERA-photonique a participé à un Pôle d'attraction interuniversitaire regroupant également la VUB et l'UGent. Cette complémentarité a été plus récemment démontrée par la remise d'un projet de recherche de type EOS, qui n'a pas été financé. Pour certaines thématiques de recherche, l'UGent fournissait une expertise en matière de modélisation des interactions lumière-matière détaillée, par exemple au sein des points quantiques. Le candidat actif dans le thème de recherche proposé apportera une partie de cette expertise et permettra d'étoffer la complémentarité entre le département TONA (VUB) et le département OPERA (ULB).

### Enrichissement des programmes d'enseignement (existants)

La VUB n'offre pas de diplôme dans la thématique "Engineering physics". Malgré cela, depuis de nombreuses années, l'option photonique de la filière physique combine de manière cohérente les enseignements dispensés par nos enseignants (ULB) avec deux cours empruntés à la VUB pour offrir une option "photonics", dispensée en anglais.

Le domaine des interactions quantiques en nanophotonique est en plein essor et enseigné dans de nombreux programmes de photonique tels que ceux, déjà mentionnés, de KTH, DTU et EPFL. Un cours donné par un enseignant actif dans ce domaine permettrait de former nos étudiants à la pointe de la technologie et de les équiper pour remplir leur rôle de "concepteur à la frontière entre fondements physiques et applications technologiques".