

## De nouvelles fibres optiques pour des usages avancés.

### I-Contexte :

#### I-1 Les applications de la photonique aujourd'hui

En ce début de XXIème siècle, il apparaît de plus en plus clairement que la photonique a un avenir « lumineux » devant elle. Tirées par les besoins des télécommunications des années 80 et 90 vers des développements à la pointe de la technologie, l'optique et l'optoélectronique ont pu apparaître ces dernières années comme des témoins de la décélération de cette industrie. C'est en fait sans compter sur les multiples applications de la photonique parfois moins médiatisées, mais dont la nouveauté ou l'importance dans le grand public est considérable. Le cas le plus marquant est celui de l'éclairage et de l'affichage. Il apparaît aujourd'hui clairement que les diodes électroluminescentes remplaceront rapidement bon nombre de systèmes d'éclairage et de panneaux d'affichage. Le sport, la mise en forme, la collimation, voire l'amplification, de ces sources seront obtenus par des fibres optiques adaptées. Le domaine des capteurs optiques et particulièrement des capteurs à fibres optiques trouve des applications importantes dans le contrôle de la qualité de l'atmosphère et la détection de polluants aussi bien que dans la mesure des flux dans l'industrie pétrolière. Juste un exemple des nombreuses applications de l'optique dans l'automobile et l'avionique, rencontré dans une revue scientifique : "New techniques for optical metrology of fuel injector components have contributed to a renaissance of the diesel engine in Europe" (Optics and Photonics News-June 2003). Dernier domaine d'application que nous pouvons citer est celui du biomédical et de la bio-photonique où les procédés les plus novateurs de l'optique sont utilisés. Un exemple original même s'il peut apparaître anecdotique dans un premier temps est celui d'une opération chirurgicale par fibre optique utilisant non pas la puissance d'un laser sophistiqué mais simplement celle du soleil (beaucoup plus aisée à obtenir à de nombreux endroits du globe.)

L'importance de ces développements et des usages qui en découlent constituent les objectifs du second appel d'offre du 6<sup>ème</sup> PCRD intitulé *Optical, opto-electronic, & photonic functional components*. Une « action de coordination » nommée BUTTER dans laquelle le groupe « Télécommunications Optiques » de Télécom Paris participe se met actuellement en place.

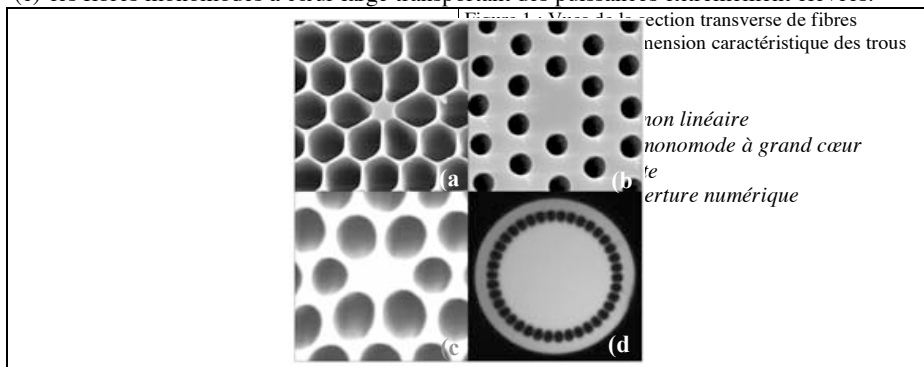
Bien entendu, le domaine des télécommunications optiques reste un acteur majeur et privilégié pour les applications de l'optique. Après quelques années de retrait, tous les indicateurs indiquent un redémarrage du domaine. Les activités de recherche se concentrent essentiellement sur les points du réseau qui constituent les goulots d'étranglement actuels : le réseaux métropolitains et les réseaux d'accès. Là encore la thématique *Broad-band for All (BB4All)* de l'appel d'offre du 6<sup>ème</sup> PCRD témoigne de la préoccupation de l'Europe dans ce domaine. Là encore, une action de coordination (acceptée) BREAD inclut le groupe « Télécommunications Optiques » parmi ces participants.

#### I-2 Les fibres spéciales pour les nouvelles applications

Le domaine des fibres optiques a recouvert une nouvelle jeunesse avec le développement de toute une nouvelle gamme de technologies issues de la maîtrise de nouveaux procédés verriers. Le dopage, l'hydrogénation, l'inscription de réseaux et surtout les micro-structurations ont permis le développement d'une gamme nouvelle de composants pour le traitement optique de l'information (amplification, filtrage, logique optique, régénération). En plus de leur utilisation renouvelée dans le domaine des télécommunications, des amplificateurs et lasers à fibres dopées auront les longueurs d'onde spécifiques ou les puissances élevées adaptées aux applications de capteurs ou de bio-photonique. Les réseaux de Bragg inscrits dans les fibres optiques en tant qu'éléments de base des multiplexeurs optiques constituent un élément central des systèmes WDM. Ils permettent aussi de concevoir nombre de capteurs à fibre optique. Les fibres micro-structurées, constituées d'un arrangement périodique de tubes d'air parallèles à l'axe de propagation de l'onde optique ont

connu un développement très récent et commencent à être commercialisées sous forme de prototype. Elle offrent une panoplie d'applications très importante (Fig.1) :

- (a) les fibres « creuses » promettant des pertes de transmission très faibles,
- (b) les fibres à petit cœur dont les non-linéarités induisent des fonctionnalités nouvelles de traitement du signal tout-optique,
- (c) les fibres monomodes à cœur large transportant des puissances extrêmement élevées.



Les domaines d'applications de ces nouvelles fibres recouvrent tous les usages et services décrits en introduction : capteur pour environnement, instrument embarqué pour le test ou pour l'éclairage dans les véhicules, transport de puissance pour la médecine, et bien sûr réseaux haut débit de télécommunications.

## II - La synergie des équipes :

### II-1 Le projet sur crédits incitatifs 2003 : FDRO

En 2003, le projet FDRO a réuni l'ensemble des équipes du GET (5) dont l'activité était consacrée aux télécommunications optiques et aux applications de la photonique. Cette interaction a permis de développer les relations entre les équipes, à familiariser chacun avec les compétences et les moyens des autres et à initier de nombreux partenariats fructueux. Deux thématiques ont regroupé l'équipe COMELEC de Télécom Paris et celle de l'ENIC associée au laboratoire PhLAM, (UMR du CNRS). Les résultats de nos activités développées en synergie montrent tout l'intérêt que représente une coopération centrée autour des fibres optiques spéciales comme en témoigne deux communications communes acceptées aux Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG'03), une soumission à la conférence Optical Fiber Conference (OFC'04) (premier congrès international du domaine) et une lettre destinée à IEE-Photonics technol. lett. en cours de rédaction. La délégation au CNRS obtenue par Catherine Lepers de l'ENIC au LTCI témoigne également de cette synergie. Les deux équipes ont d'autre part développé des relations industrielles en particulier avec Alcatel, fabricant et utilisateur de fibres optiques. Alcatel a fourni des échantillons à nos équipes pour aider à nos développements et initier des coopérations futures.

### II-2 L' ENIC, le PhLAM et l'IRCICA

Le laboratoire du PhLAM où sont intégrés les enseignants-chercheurs de l'ENIC a acquis un savoir-faire reconnu dans l'interprétation de la migration des défauts de la matrice amorce des verres lors notamment de leur vieillissement. Sa maîtrise des procédés technologiques lui a permis d'innover dans les techniques de gravure de réseaux de Bragg dans les fibres. Aujourd'hui, il participe avec l'IEMN (Institut d'Electronique et de Microélectronique du Nord) et le LIFL (Laboratoire Informatique Fondamental de Lille) de Lille à la création d'un centre de recherche avancée dans le domaine des composants pour l'information et la communication : IRCICA. L'objectif de l'équipe Photonique du PhLAM est de mettre en

place une tour de fibrage afin de fabriquer des fibres à cristaux photoniques. Ce projet ambitieux et unique est soutenu par la région, le CNRS et l'Etat et promet de devenir un pôle technologique de tout premier plan au niveau national. Conserver une relation étroite avec ce centre constitue une réelle opportunité pour les équipes du GET.

### II-3 Les moyens de Télécom Paris (groupe Télécommunications Optiques)

Depuis de nombreuses années, ce groupe possède une expertise dans le domaine des systèmes WDM très haut débit ainsi que dans le développement de fonctions optoélectroniques nouvelles (conversion en longueur d'onde, régénération, récupération d'horloge,...). Des résultats intéressants ont été obtenus à partir de composants à semi-conducteurs (lasers, amplificateurs) ou à fibres optiques. Ces travaux ont amené le groupe à développer des réelles compétences en modélisation et à mettre en place des moyens de caractérisation originaux et extrêmement performants qui aujourd'hui donnent tout son sens à la coopération proposée. Ceux-ci présentent un grand intérêt pour les partenaires lillois : comparaison des modèles et caractérisation pour la validation des procédés de fabrication des nouvelles fibres à Lille.

Télécom Paris maîtrise un outil de caractérisation des paramètres de propagation dans les fibres (banc OLCR) (mesure de la dispersion chromatique et de la biréfringence) et possède une expertise reconnue dans les applications potentielles pour les futures générations de réseaux optiques et mixtes. Par exemple, un travail original sur les techniques de CDMA optique vise à apporter des solutions aux problèmes de distribution dans les réseaux d'accès.

## III- Les objectifs du projet

### III-1 Les attendus scientifiques

#### III-1-a) Valorisation des outils de caractérisation et des compétences en modélisation

Les fibres microstructurées permettent des propagations monomodes sur des plages spectrales de plus de 1000 nm, la génération de supercontinuum pour la réalisation de sources WDM, l'ajustement des courbes de dispersion chromatique, la génération aisée d'effets non linéaires. Le diamètre des trous d'air et leur séparation entraînent des caractéristiques de propagation variées. Par exemple, la dispersion chromatique peut être ajustée (Figure 2).

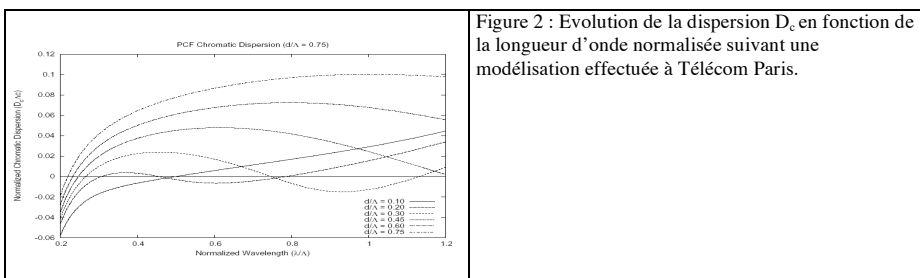


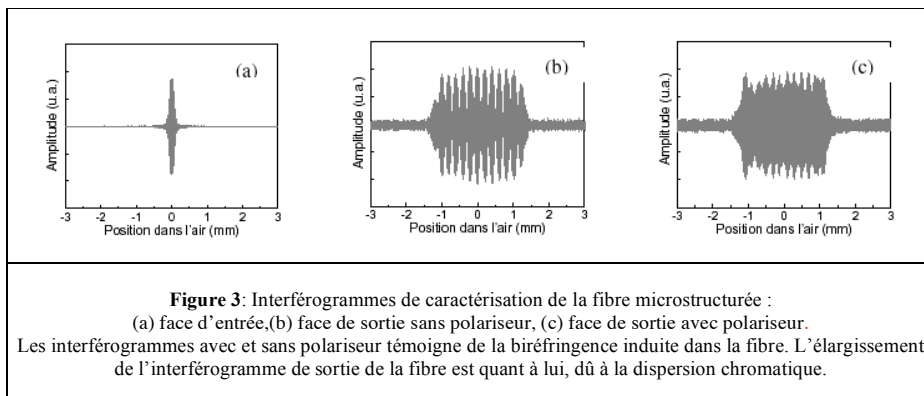
Figure 2 : Evolution de la dispersion  $D_c$  en fonction de la longueur d'onde normalisée suivant une modélisation effectuée à Télécom Paris.

Les réseaux de Bragg inscrits dans les fibres optiques sont d'un usage répandu tant dans le domaine des télécommunications que des capteurs optiques. Le raffinement de la structure du réseau profondeur, contraste, évolution progressive ou rupture de périodicité amène régulièrement la conception de nouvelles applications.

Dans ces deux cas, il est nécessaire de maîtriser parfaitement les « process » de fabrication afin d'assurer une production de qualité. Il est indispensable à terme de pouvoir prévoir dès la conception, les caractéristiques de la fibre en fin de fabrication. Tant que cette maîtrise n'est pas obtenue, la difficulté de réalisation de ce type de fibre entraîne des écarts par rapport à une structure modélisée. De ce fait, la mesure des caractéristiques optiques de la fibre telles que la dispersion chromatique et la biréfringence de forme)est capitale.

Remplaçant 30/9/03 17:04  
Mis en forme

La technique de réflectométrie optique à faible cohérence ou OLCR (Optical Low Coherence Reflectometry) développée à Télécom Paris, a été mise en œuvre afin de mesurer la dispersion chromatique et la biréfringence d'une fibre microstructurée (Figure 3). L'exploitation de ces interférogrammes a permis de donner des valeurs de la dispersion chromatique et de la biréfringence aux deux longueurs d'onde 1300 nm et 1550 nm ; valeurs qui se sont révélées en bon accord avec celles obtenues lors de simulations numériques effectuées par l'équipe photonique du laboratoire PhLAM dans lesquelles la structure géométrique réelle de la fibre a été prise en compte. Ces résultats prometteurs permettent d'envisager une collaboration avancée dans l'objectif de participer au développement des facilités de l'IRCICA. En parallèle, ces études permettent de valoriser les moyens de test disponible à Télécom Paris et les compétences en modélisation des équipes.



### III-1-b) Activités de recherche.

#### Fibres microstructurées :

*A court terme :* Les mesures de dispersion chromatique et de biréfringence sont prometteuses quant à leur utilisation lors du tirage des fibres. Cependant, des mesures par la méthode de la phase de la dispersion chromatique (ENIC) et de la biréfringence (PhLAM) sont en cours et seront utiles dans une ultime étape de comparaison des différents résultats obtenus et d'étalonnage (Télécom Paris, PhLAM et ENIC). Les mesures devront être menées sur différents types de PCF. L'analyse des résultats obtenus et une modélisation poussée permettra de quantifier l'influence des différents paramètres de la fibre. La part due à la biréfringence de forme ou de contrainte nécessite également des études expérimentales plus approfondies.

*A moyen terme :* Dans ce nouveau programme, nous souhaitons également étudier les effets non linéaires dans ces fibres PCF comme le mélange à 4 ondes qui intervient dans la conversion de longueur d'onde. Nous souhaitons mettre en place une méthode de mesure de l'effet Kerr. Ce paramètre doit pouvoir être mesuré de façon fiable pour spécifier les fibres produites par le PhLAM dans le cadre de l'IRCICA.

#### Réseaux de Bragg photoinscrits dans les fibres pour application au CDMA optique :

*A court et moyen termes :* En ce qui concerne le CDMA optique, l'équipe « photonique » du laboratoire PhLAM va développer de nouveaux codeur/décodeur et nous effectuerons le test et la caractérisation sur la liaison mise en place à Télécom Paris. Le développement de codes bipolaires nous permettrait d'envisager de nouveaux codeur/décodeur à base de réseaux de Bragg pour ensuite les intégrer dans le système. La génération de ces nouveaux codes, demande d'effectuer des simulations et ensuite de lever les verrous technologiques liés à leur conception.

**III-1-c) Moyens humains mis en œuvre (personnel GET)**

Afin d'atteindre ces objectifs, C.Lepers est actuellement en délégation dans le laboratoire CNRS LTCI - groupe « Télécommunications Optiques ». Y. Jaouen se propose d'effectuer un séjour de quelques semaines dans le laboratoire PhLAM afin d'apporter sa « contribution système » lors de la réalisation technologique des composants et de se familiariser avec les potentialités des méthodes de fabrication. M. Bouzaoui de l'ENIC encadrera un stagiaire afin de parfaire l'expérience de mesure de la dispersion chromatique. Des mesures et des simulations sur des échantillons de fibres seront effectuées par C. Palavicini, Y. Jaouen, C. Lepers et G. Debarge. La conception de fonctions optiques nouvelles sera entreprise par C. Lepers et D. Erasme.

Didier Erasme 1/10/03 8:40  
Supprimé:

**III-2 Un partenariat stratégique**

Les moyens de caractérisation uniques et la compétence en modélisation du groupe de Paris constituent un support inestimable pour le laboratoire PhLAM dans sa participation au projet IRCICA. Cette collaboration présente donc un grand intérêt pour l'équipe Lilloise. La place des E/C de l'ENIC, leur implication dans le projet IRCICA, leurs compétences propres en techniques verrières et en techniques expérimentales, a amené une riche synergie entre les équipes de Paris et de Lille (ENIC, PhLAM et IRCICA). Parallèlement, cet échange permet de mettre en valeur les compétences parisiennes dans le monde de la recherche par des publications de toute première qualité. Les retombées en termes de valorisation de ces compétences par des collaborations futures avec des industriels commencent à se faire sentir. En particulier, dans le domaine des fibres optiques les relations de chacun des partenaires avec des entreprises telles qu'Alcatel apporte une légitimité qui permet dès à présent l'initiation de discussion de coopération qui pourrait déboucher dans un avenir proche vers une coopération contractuelle.

De plus, la collaboration donne accès à la fourniture de composants pour des utilisations en télécommunications optiques ou dans d'autres applications de la photoniques. De ce point de vue, maintenir cette coopération représente un objectif particulièrement prometteur dans la perspective du développement de l'IRCICA et de ces capacités futures de fabrication de composants originaux. Les laboratoires qui accéderont à ce type de nouvelles structures auront une longueur d'avance pour proposer de nouvelles fonctionnalités en photonique. Sur ces technologies innovantes se fonderont de nombreuses options de la recherche à venir.

**III-3 Labélisation GET**

Avec ces objectifs en ligne de mire, le label « projet sur crédits GET » nous semble extrêmement important car il correspond à un signal fort. Il montre avec une action proche du terrain, l'intérêt du GET vis-à-vis du développement de l'IRCICA et crée les bases de relations privilégiées. Celles-ci constitueront dans le futur une source importante de richesse pour les activités de recherche (voire d'enseignement) des équipes du GET. A court terme, la mise en valeur à travers les travaux communs vers l'extérieur de l'expertise du laboratoire de Télécom Paris est une retombée importante.

**IV Budget : Total 20k€**

Télécom Paris COMELEC Missions = 5 k€ Petit matériel optique pour l'ajustement spécifique des dispositifs aux mesures = 5 k€	ENIC Personnel = 3k€, Missions = 2k€ Petit matériel pour l'ajustement spécifique des dispositifs aux fabrications = 5k€
--	---

Remplaçant 30/9/03 17:16  
Supprimé: