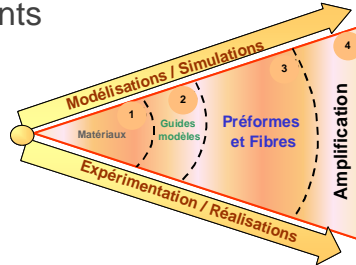


## Contexte et résultats marquants

### Objectifs:

- Appliquer la résonance de modes plasmons au domaine spécifique des fibres optiques
- Développer la compréhension de l'interaction lumière/nanoparticules métalliques (NPMs)
- Elargir la connaissance des méthodes de synthèse de NPMs et la simulation de leurs effets



### Perspectives:

- Développer le domaine des fibres optiques spéciales
- Favoriser l'émergence de composants optiques de nouvelle génération
- Dévoiler un domaine où le potentiel des nanotechnologies peut constituer un avantage compétitif

## Incorporation de NPMs

### 1- Stratégies de dopage - Synthèse de NPMs

#### Résultats majeurs

**Deux voies envisagées**

- 1) Synthèse de NPs cœur/coquille
- 2) Précipitation de NPs « in situ »

**Nanobâtonnets or/silice**

Nanosphères et nanobâtonnets or/silice

Co-dopage terre rare dans la couronne silice jusqu'à  $10^{21}$  ions/cm<sup>3</sup>

Développement de suspensions compatibles (volume, [Au]) avec le dopage par MCVD

### 2- Incorporation de NPMs dans une matrice sol-gel

#### Résultats majeurs

**Matrice sol-gel spécifique**

Dopages NPs or et Eu<sup>3+</sup>

Jusqu'à 50ppm vol. et  $10^{21}$  Eu<sup>3+</sup>/cm<sup>3</sup>

Détermination de la structure densifiée

microsonde Si et O, RMN <sup>29</sup>Si

Qualité optique et mécanique de la matrice sol-gel

Adéquation du verre sol-gel pour le dopage NPMs et le co-dopage par des ions de terre rare

Optimisation du recuit

### 3- Incorporation de NPMs dans une préforme et fibre optique MCVD

#### Résultats majeurs

**2. Dopage du cœur**

**3. Impregnation en gel**

**4. Rétreint**

**5. Filage**

**6. Manœuvre**

**7. Préforme dopée**

**8. Filage**

**9. Fibre dopée**

**Modified Chemical Vapor Deposition Process (MCVD)**

Impregnation poreux et vitrification: couche dopée NPs or

La faisabilité du rétreint dépend de la [NPs Au]

Adaptation du verre sans effet

Aux [NPs Au] ciblées, l'énergie nécessaire au rétreint provoque l'évaporation de la silice et l'aggrégation des NPs

Rétreint de la préforme dopée NPs Or

Incorporation de NPs or dans une préforme MCVD

Impossible d'obtenir une taille de préforme dopée « fibreuse » ayant la [NP Au] voulue

La voie MCVD est inadaptée pour les applications ciblées: la voie sol-gel semble être la voie de choix

## Effets optiques de NPMs

### 1- Exaltation Raman - Effet SERS

#### Résultats majeurs

**Systèmes étudiés**

Matrice sol-gel spécifique

Substrat Klarite

Matrice sol-gel

Les effets observés sur monolithes dopés sont perturbés par des luminescences parasites

Des mesures RAMAN anti-stokes ne permettent pas de s'affranchir de ce problème

Exaltation TiO<sub>2</sub> X100: portée de l'effet < 8 nm

Exaltation SiO<sub>2</sub>: non démontrée sur Klarite ou sol-gel

### 2- Exaltation fluorescence - terres rares

#### Résultats majeurs

**Systèmes étudiés**

Multicouches PLD

Interaction TR/NPM

Système Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Eu - NP Ag

Expérience et modélisation s'accordent sur une distance optimale -15-20nm de l'or

Modélisation de l'exaltation de fluorescence

Système SiO<sub>2</sub>/Eu - NP Au

Cas de nanobâtonnets rapport d'aspect=3

Exaltation maximale aux extrémités des NPMs

Gain net moyen défavorable à 1.5µm mais exploitable à 1µm

Nécessité de contrôler la distance entre les ions TR et la surface des NPMs

Nanobâtonnets > forme la plus favorable à l'exaltation de fluorescence

Mise en évidence d'un gain potentiel significatif à 1µm lié aux NPMs

### 3- Activation par effet photo-thermique - micro routeurs plasmoniques

#### Résultats majeurs

**Système étudié**

Micro-routeurs à base de PMMA dopé par NPs or

Les NPs d'or améliorent la conversion lumière-chaaleur à 532nm sans altérer la propagation à 1.5µm

Fonctionnement sur le principe d'un interféromètre multimode activé photo-thermiquement

Mise en évidence d'un effet inattendu, très significatif pour de faibles [NPMs]

## Conclusions/Bilan

- Une approche originale basée sur la confrontation entre expérimentation et modélisation a du être développée pour répondre aux problématiques liées au Projet:
  - Des réponses réalistes ont pu être apportées sur les effets potentiellement transposables sur fibre optique ainsi que sur les conditions d'une telle exploitation
    - Exaltation de luminescence des terres rares, notamment vers 1µm, si la forme des NPMs et la distance terre rare/NPM peut être contrôlée
  - Des synthèses de NPMs présentant les designs requis en termes de forme/taille des NPMs et co-dopages par des ions de terre rare ont été fortement développées
    - NPs core (or)/shell (silice), sphères et bâtonnets, co-dopées par des ions Eu<sup>3+</sup> et Er<sup>3+</sup> jusqu'à 10<sup>6</sup> ions/NPM avec couche tampon d'épaisseur définie
- L'exploitation sur fibre optique d'effets liés aux NPMs passe par le développement de procédés de fabrication utilisant les techniques sol-gel (hors du cadre du Projet)
  - L'incorporation de NPMs dans une préforme MCVD se heurte à une incompatibilité technique avec l'étape de rétreint du verre inhérente à ce procédé industriel
  - Les développements réalisés sur les verres modèles sol-gel au cours du projet ont montré que ce procédé était le mieux adapté au dopage d'un verre par des NPMs
    - Les possibilités de mise en œuvre sur préformes et fibres « sol gel », des effets étudiés dans ce Projet ont commencé à être discutées avec l'IRCICA à Lille
    - L'existence actuelle d'un laboratoire commun entre DRAKA et l'IRCICA favorisera une reorientation vers cette technique mieux adaptée à ce type de dopage

## Production scientifique (publications)

- 1- Coupling distance between Eu<sup>3+</sup> emitters and Ag nanoparticles, A. Pillonnet, A. Berthelot, A. Pereira, O. Benamara, S. Derom, G. Colas des Francs, and A.M. Jurdy, Appl. Phys. Lett., 2012
- 2- Surface Enhanced Raman Scattering of silica matrices containing noble metal nanoparticles for the improvement of Raman Amplification in telecommunication optical fibers, Bernard Champagnon et al., Oral, Glass & Optical Materials Division Spring Meeting, GOMD 2012, Saint-Louis, MO, May 20-24, 2012
- 3- Coupling distance between Eu<sup>3+</sup> emitters and metal nanoparticles, A. Pillonnet, et al., 2012 MRS Spring Meeting, San Francisco, California, April 9 - April 13, 2012
- 4- Coupling distance between rare earth emitters and metal nanoparticles, A. Pillonnet, et al., International Conference on Enhanced Spectroscopy ICES 2012, Porquerolles Island, France, October 3-5, 2012
- 5- Characterization of SERS Substrates for the Amplification of Amorphous Matrix RAMAN Signals, S. Degioanni, et al. 1st International Workshop on Metallic Nano-Objects: From Fundamentals to Applications, 15-16 November 2012, Saint-Etienne, France
- 6- Mie Plasmons : Modes Volumes, Quality Factors and Coupling Strengths (Purcell Factor) to a Dipolar Emitter G. Colas des Francs, et al. Int. J. Optics, 2012
- 7- Resonance quality, radiative/ohmic losses and modal volume of Mie plasmons S. Derom, et al. Europhysics Letters, 2012
- 8- Efficient photo-thermal activation of gold nanoparticles-doped polymer plasmonic switches, J.-C. Weeber, et al., Optics Express 2012
- 9- Nouvelles générations des fibres dopées Terre-rare : performances et applications, E. Buruy et al., Atelier « Terres Rares » GDR Verres - Nice, 10-11 septembre 2012
- 10- Design of core-shell gold-silica nanostructures doped with rare earth ions for use in optical fibers, L. Bertry et al., Gold 2012 International Conference, Tokyo, Septembre 2012
- 11- Synthèse et caractérisation optique de nanostructures cœur-coquille or-silice dopées terres rares pour l'exaltation de la luminescence, L. Bertry et al., Groupement de recherche de Plasmonique Moléculaire et Spectroscopies Exaltées, journée thématique « Elaboration de structures plasmoniques hybrides », Paris, mars 2012
- 12- Elaboration de nanostructures cœur-coquille or-silice dopées terres rares pour des applications fibres optiques, L. Bertry et al., Groupement de recherche sur les Nanoparticules d'Or, réunion plénière, Poitiers, mars 2012.

### CONTACT :

alain.pastouret@draka.com

