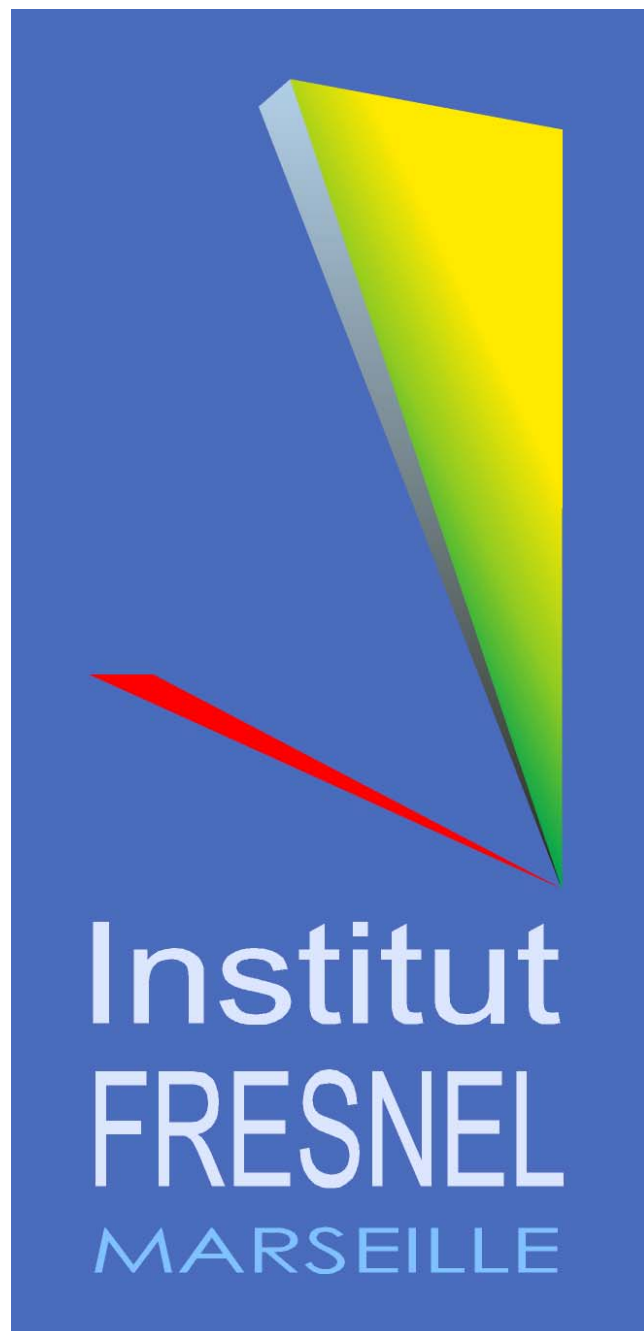




Institut Fresnel

UMR 6133

Équipe CLARTE

*Contrôle de la Lumière et Analyse du Rayonnement :
Traitement Electromagnétique*

2006-2010



Moyens Humains

12 Permanents

4 CNRS

7 UP-UPCAM

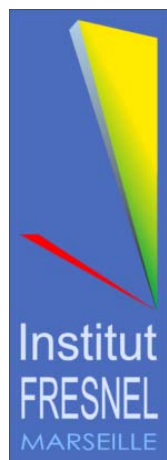
1 ECM

*Pour les 4,5 ans considérés
pour l'évaluation*

= 43 ETPR

7 Doctorants

**Soit 9,5 ETPR / an en
moyenne**



Métier - Rayonnement - Collaborations

ANR (souligné)
Nationales
Internationales

Mathématiques appliquées

Univ. Liverpool
Imperial College
Univ. Cagliari
ANAM (Toulon)

Expérience

ICB (Dijon)
IEMN (Lille)
LAAS (Toulouse)
LPN (Marcoussis)
LVC (Rennes)
PERFOS (Lannion)
X-Lim (Limoges)
Phlam/IRCICA (Lille)
IEF (Orsay)
GEMAC (Versailles)
FOTON/ENSSAT (Lannion)
FEMTO-ST (Besançon)
ONERA DOTA
ICFO (Barcelona)
ICMM (CSIC, Madrid)

Modélisation

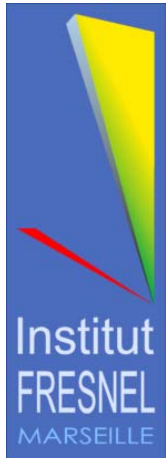
IEF (Orsay)
GES (Montpellier)
LASMEA (Clermont)
ESPCI & EM2C
Univ. Sydney
Univ. Valencia
Univ. Liège
Univ. Sienne
Univ. Trente
Univ. Tsinghua
Univ. Kânpur
Univ. St Petersburg
Univ. Wroclaw (Poland)

Théorie

AMOLF (Amsterdam)...

Applications

CEA
CNES
DGA
Jobin-Yvon
Thales Alenia Space
PERFOS (Lannion)
ILE (Palaiseau)



Thèmes de recherche

- Thème 1 : **Cristaux photoniques et phononiques**
- Thème 2 : **Métamatériaux et cloaking**
- Thème 3 : **Plasmonique**
- Thème 4 : **Diffraction et réseaux**
- Thème 5 : **Fibres optiques**

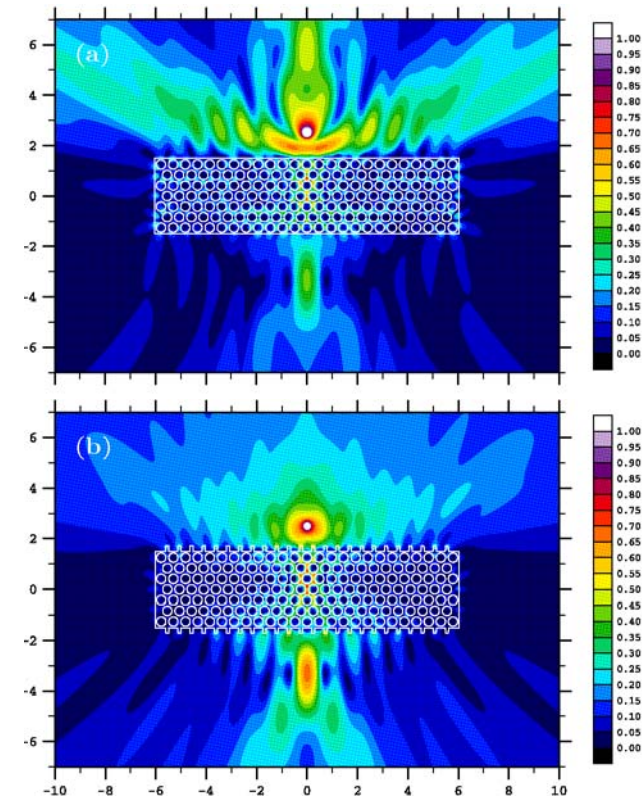
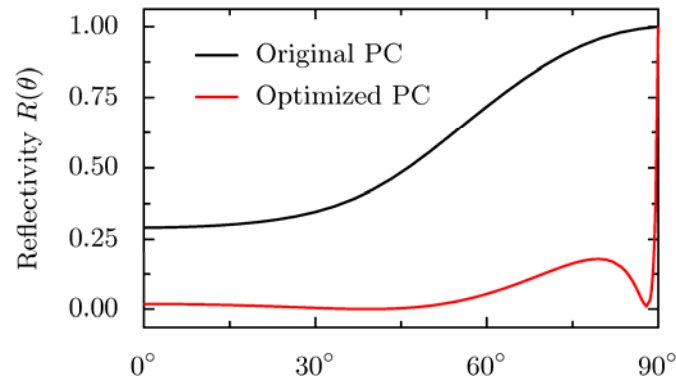
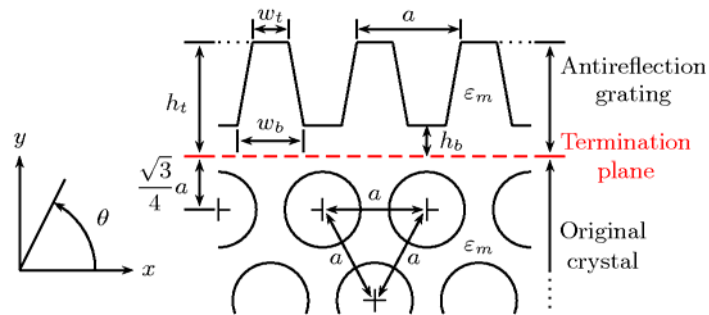
Cristaux photoniques

Lentille plate en cristal photonique d'indice -1

Source ponctuelle au dessus, image au dessous

(a) Mauvaise adaptation d'impédance entre le vide et le cristal => forte réflexion

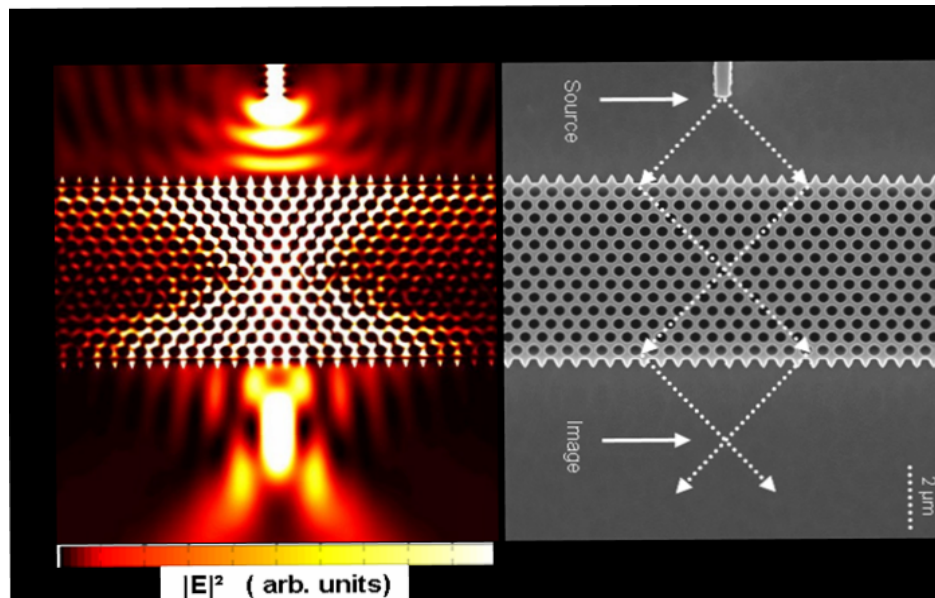
(b) Après conception d'un profil de réseau antiréfléchissant, bonne transmission et image renforcée



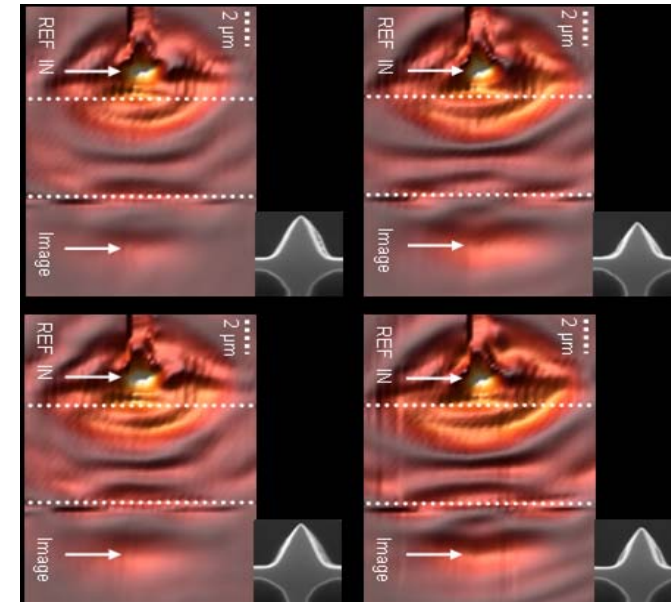
Cristaux photoniques

Projet FANI (ANR-07-NANO-038-03)

$\lambda = 1530 \text{ nm}$



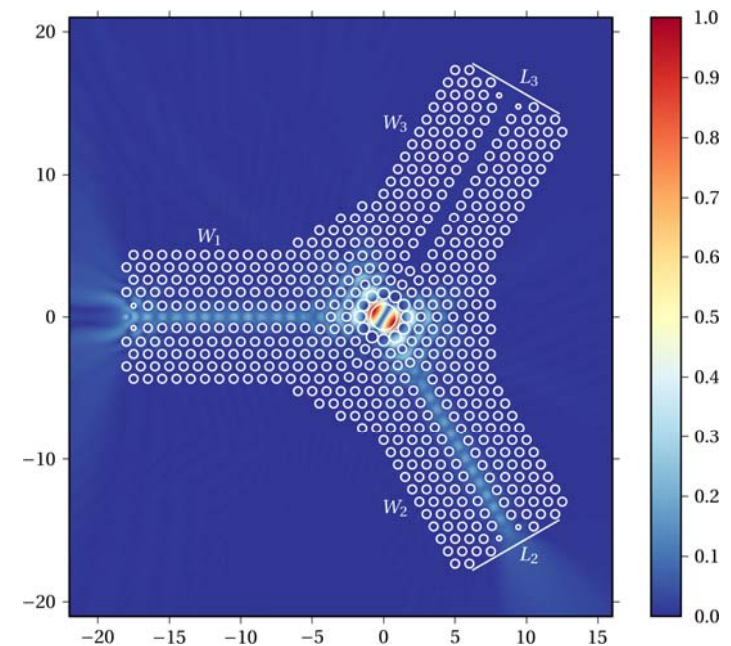
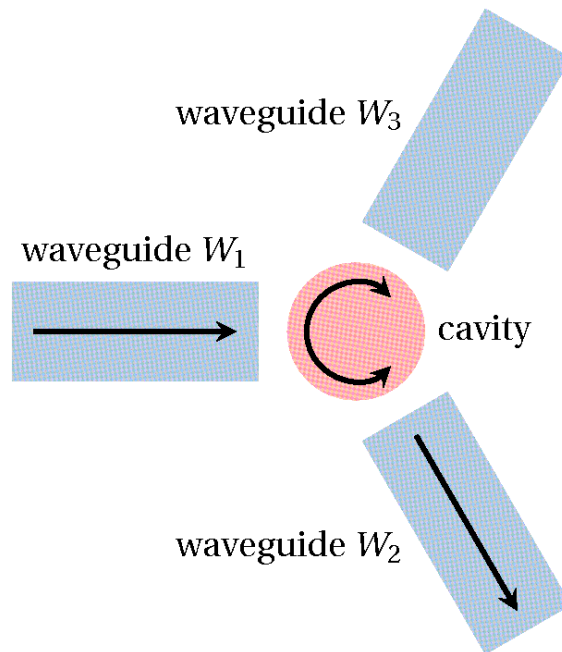
Fabrication en optique guidée:
Équipe DOME, IEMN, Lille



Mesures en champ proche:
Équipe OCP, LICB, Dijon

Cristaux photoniques

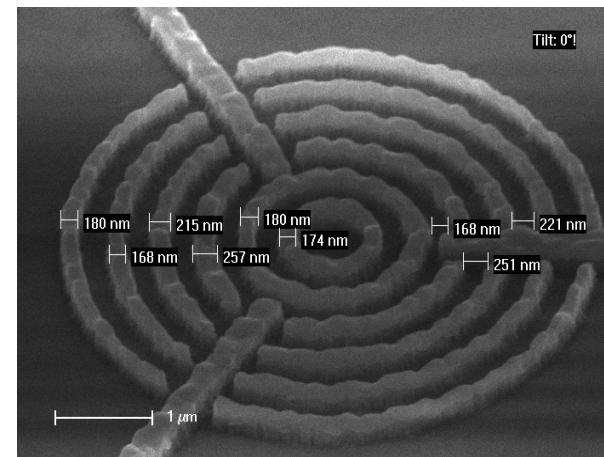
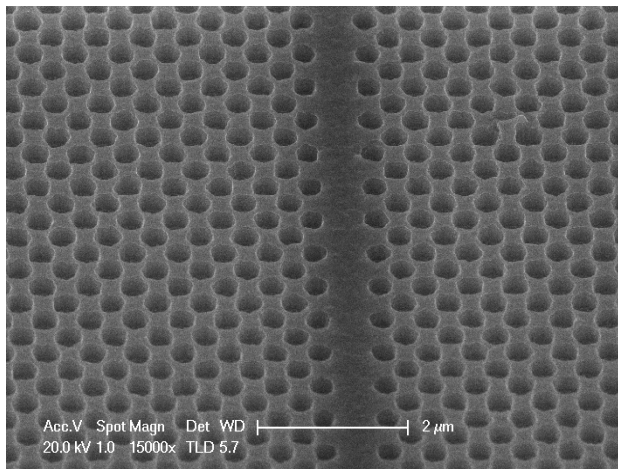
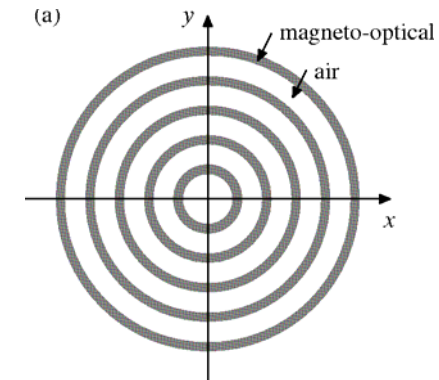
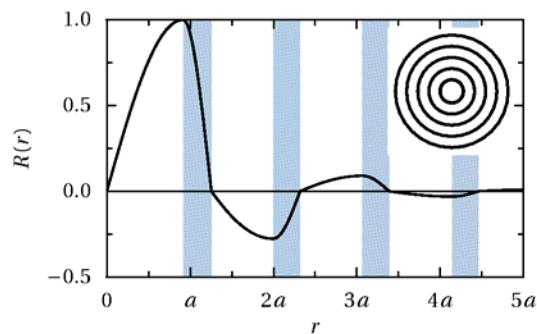
Conception de composants non-réciproques pour l'isolation en optique intégrée



Circulateur en cristal photonique magnéto-optique

Cristaux photoniques

Projet Magneto-Phot (ANR-06-BLANC-0252)



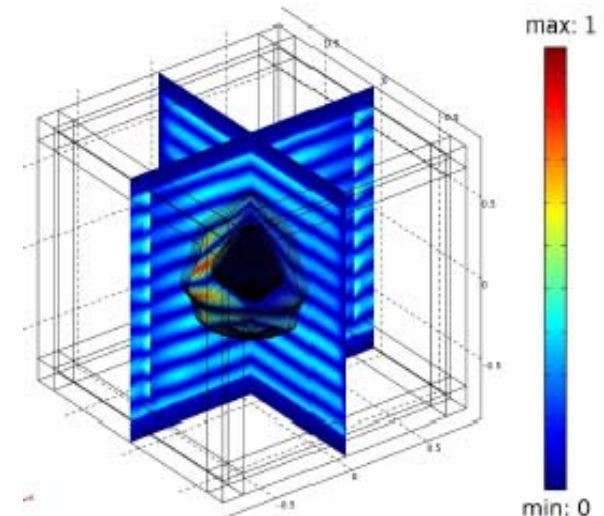
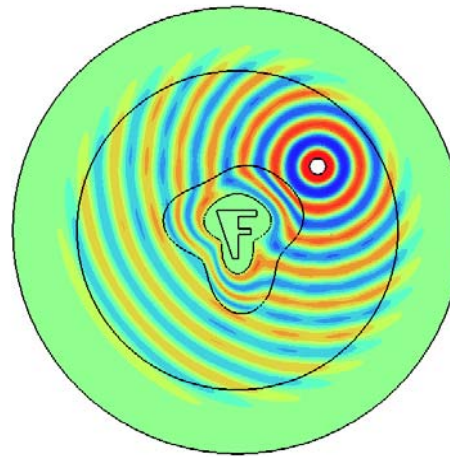
Fabrication en optique guidée: équipe MMS, IEF, Orsay

Métamatériaux et cloaking

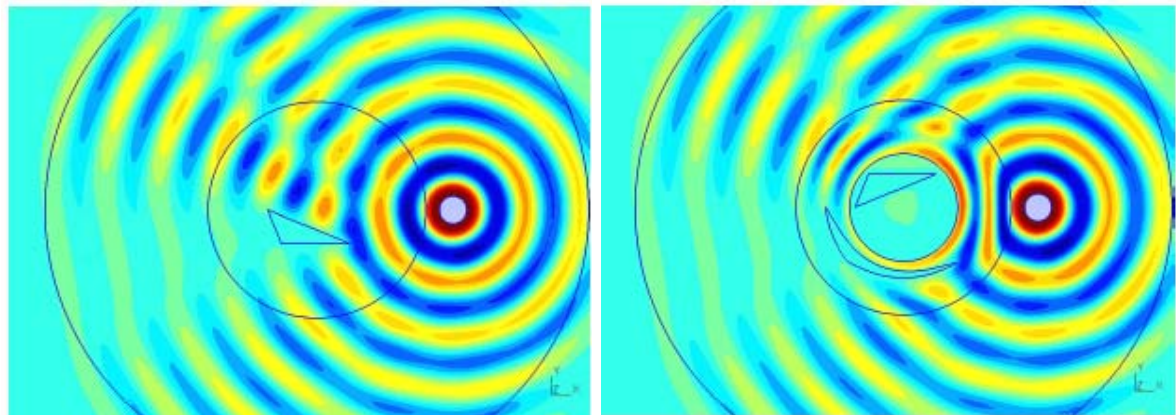
Optique de transformation (invisibilité et mirages)

1. Zolla, Guenneau, Nicolet, and Pendry, Optics Letters 32 (9), 1069-1071, 2007
2. Nicolet, Zolla, and Guenneau Optics Letters 33 (14), 1584-1586, 2008
3. Dupont, Guenneau, Enoch, Demesy, Nicolet, and Zolla, Opt. Express 17 (25) 22603 2009
4. Nicolet, Zolla and Geuzaine, IEEE Trans. Mag. 2010
5. Diatta, Dupont, Guenneau and Enoch, Optics Express 18(11), 11537, 2010

Illustration de
la cape
« caméléon »



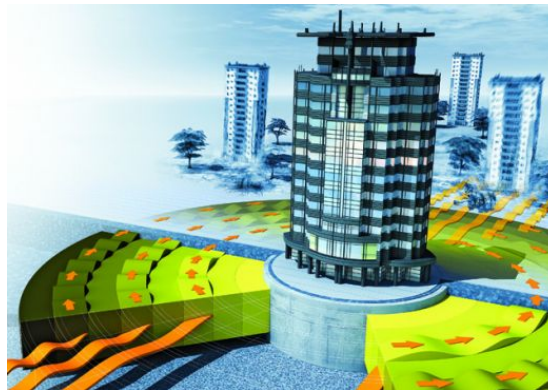
Capes d'invisibilité de forme quelconque 2D et 3D



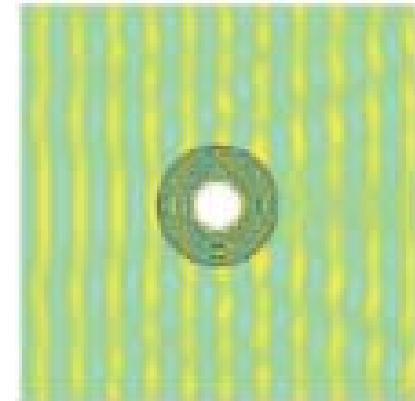
Cristaux photoniques, phononiques, métamatériaux et cloaking

Cape d'invisibilité pour ondes sismiques

Farhat, Guenneau,
Enoch & Movchan
Phys.Rev.Lett. 2009
Appl. Phys. Lett. 2010
Brevet déposé (CNRS/
Aix Marseille Université/
Liverpool University)



Vue d'artiste



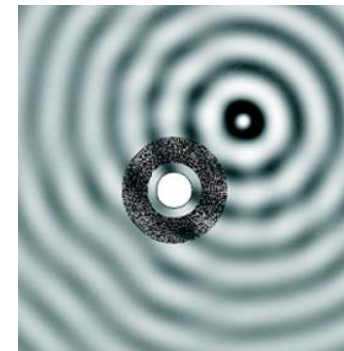
Simulation numérique

Cape d'invisibilité pour vagues

Farhat, Enoch, Guenneau
& Movchan
Phys. Rev. Lett. 2008



Dispositif expérimental



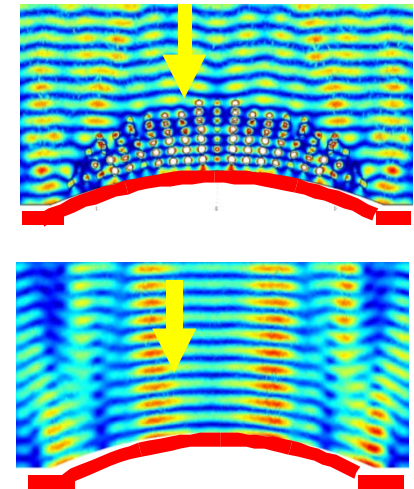
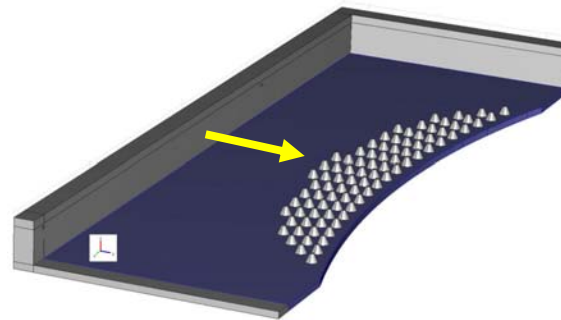
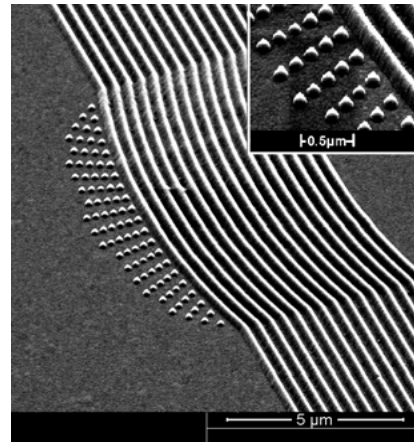
Simulation numérique

Métamatériaux et cloaking

Plasmonique transformationnelle (tapis d'invisibilité)

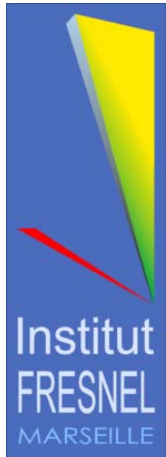
Contrôle de la propagation des plasmons de surface

Renger, Kadic, Dupont,
Guenneau, Quidant,
Enoch, Opt. Express 18,
15757 (2010)



Réalisation expérimentale (Barcelone)
mettant en exergue les plasmons de
surface à l'aide de nanoplots de TiO_2
déposés sur une surface d'or.

Simulation numérique
(vue de dessus)



Plasmonique et nano-objets

Problématiques :

Interaction de la lumière avec des nano-particules

Focalisation de la lumière incidente dans des zones $\text{sub-}\lambda$

Nano-antennes: couplage d'émetteurs avec des nano-objets en vue d'augmenter

- l'efficacité radiative
- la directivité ou le contrôle des directions d'émission

Utilisation :

- de théories quasi-analytiques
- des résonances plasmoniques dans les particules métalliques
- et aussi des propriétés des sphères diélectriques

En gardant à l'esprit les propriétés de réciprocité:

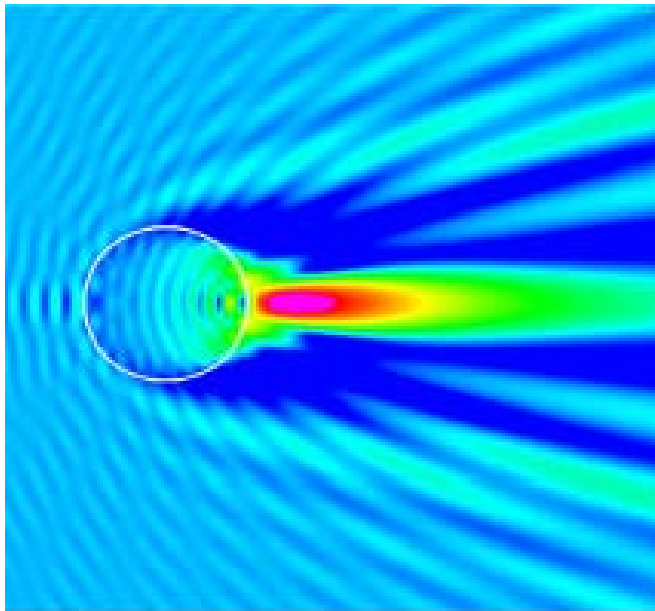
- champ lointain $\Rightarrow$ champ local (focalisation)
- champ local $\Rightarrow$ champ lointain (émission directive)

Jets photoniques

Modélisation :

Sphère illuminée par une onde plane :

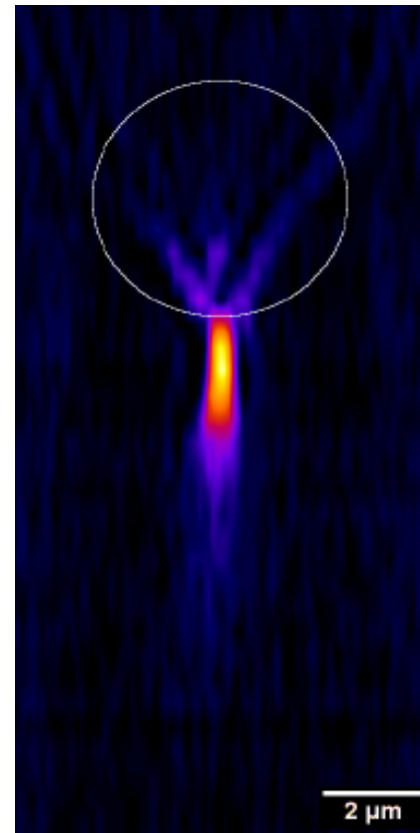
- transverse FWHM sub- λ
- Faible divergence



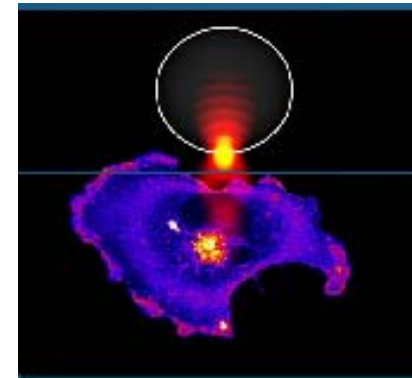
A. Devilez et al., Opt Express (2008)

Observations :

Collaborations avec **MOSAIC**



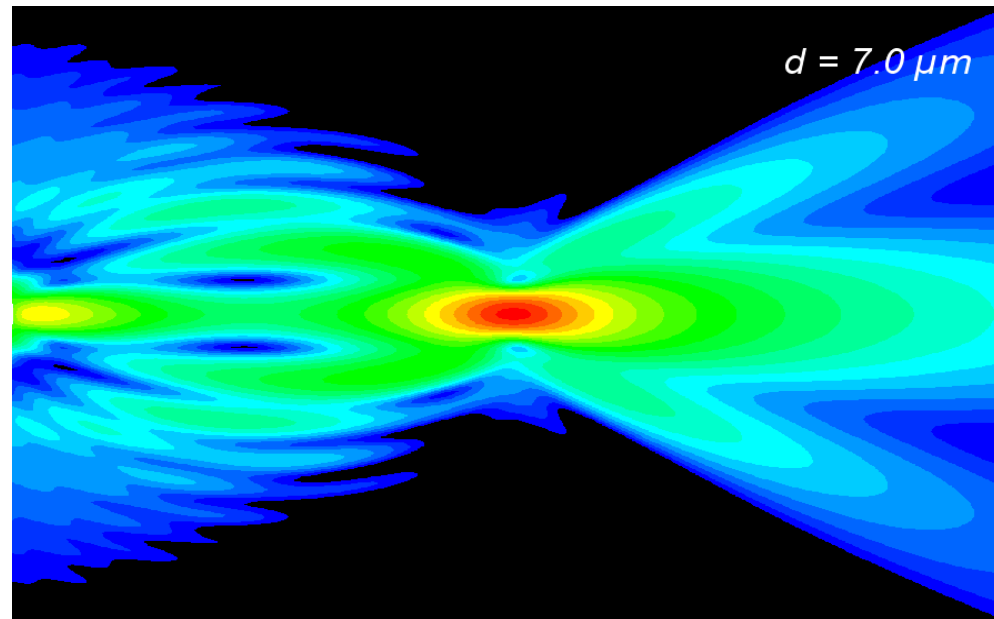
$d = 5 \mu\text{m}$
 $\lambda = 520 \text{ nm}$
 $n_s = 1.6$



Ferrand et al, Opt Express **16**, 6930 (2008)

Jets photoniques

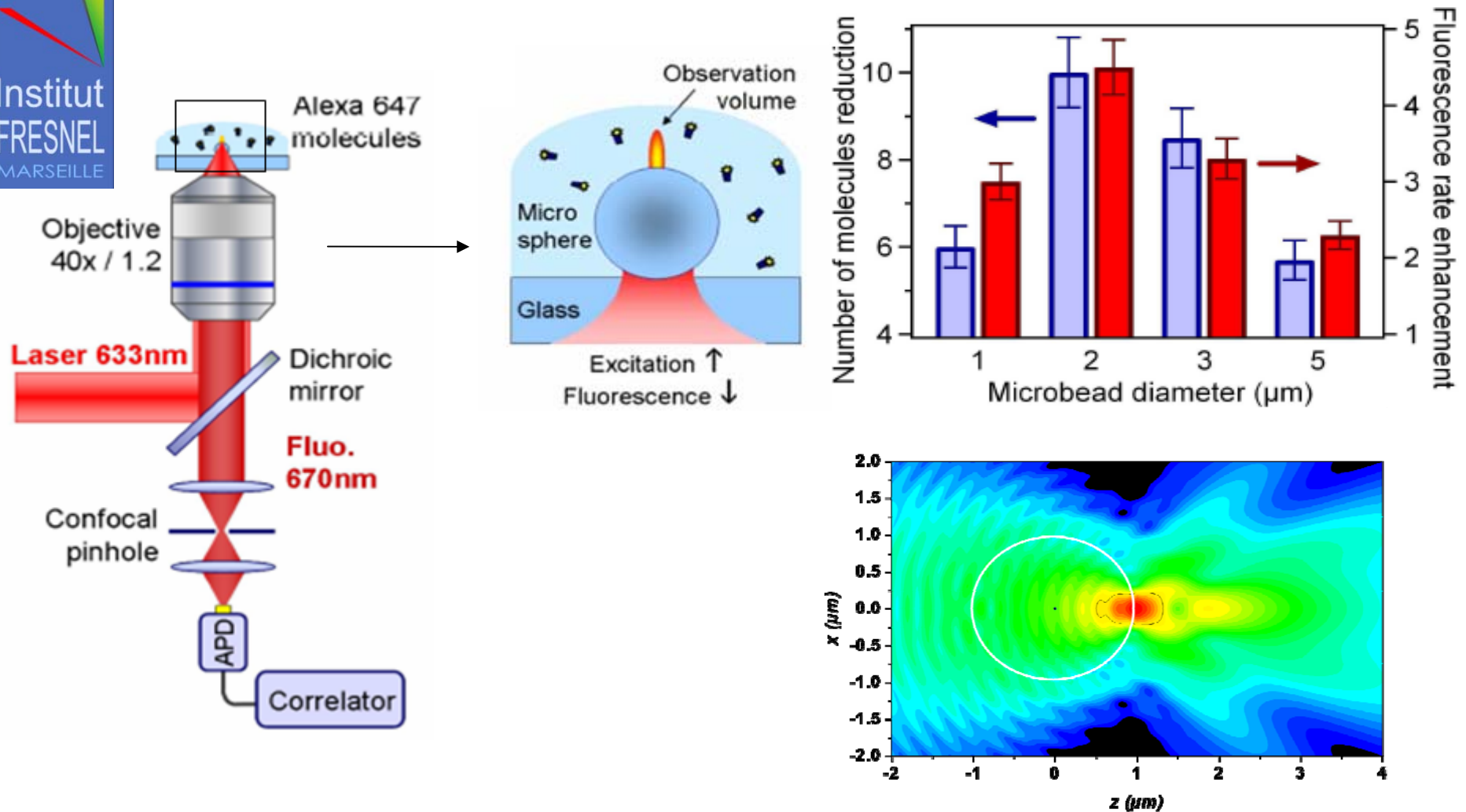
Sphères diélectriques dans un faisceau à grande ouverture numérique
=> confinement tri-dimensionnel
avec des objets extrêmement simples



Devilez et al., Opt. Express **17**, 2089-2094 (2009)

Applications : (avec MOSAIC)

« fluorescence time correlation spectroscopy » (FCS)



J. Opt. Soc. Am. B (2009), Proc. SPIE, 7393 (2010) 26,
Optics Express, 17 (2009), Opt. Express 16, 15297 (2008)

Plasmonique : nano-antennes

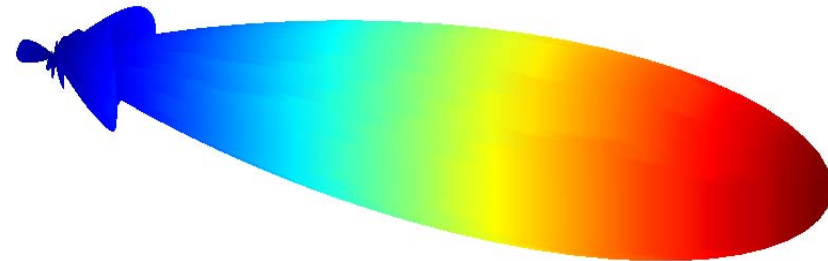
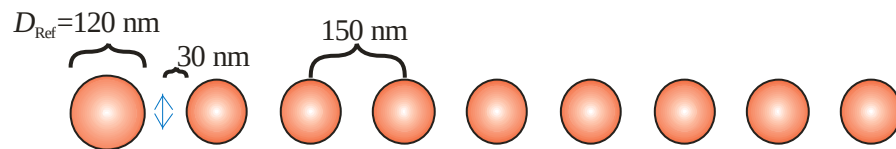
(Modification des taux de désexcitation et de directivité d'émetteurs quantiques)

Formulation multipolaire quasi-analytique :

$$\frac{\Gamma_e}{\Gamma_0} = \frac{\langle P_e \rangle}{\langle P_{e,0} \rangle} = 1 + \frac{6\pi}{\text{Re}\{k_b\}} \text{Re} \left\{ k_b \sum_{j,l=1}^{\infty} f^{\dagger} \cdot H^{(0,j)} \cdot T^{(j,l)} \cdot H^{(j,0)} \cdot f \right\}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Gamma_r}{\Gamma_0} = \frac{\langle P_r \rangle}{\langle P_{r,0} \rangle} = 1 + 6\pi \sum_{i,j,k,l=1}^{\infty} & \left[T^{(j,i)} \cdot H^{(i,0)} \cdot f \right]^{\dagger} \cdot J^{(j,k)} \cdot T^{(k,l)} \cdot H^{(l,0)} \cdot f \\ & + 12\pi \text{Re} \left[\sum_{j,k=1}^{\infty} \left[J^{(k,0)} \cdot f \right]^{\dagger} \cdot T^{(k,j)} \cdot H^{(j,0)} \cdot f \right] \end{aligned}$$

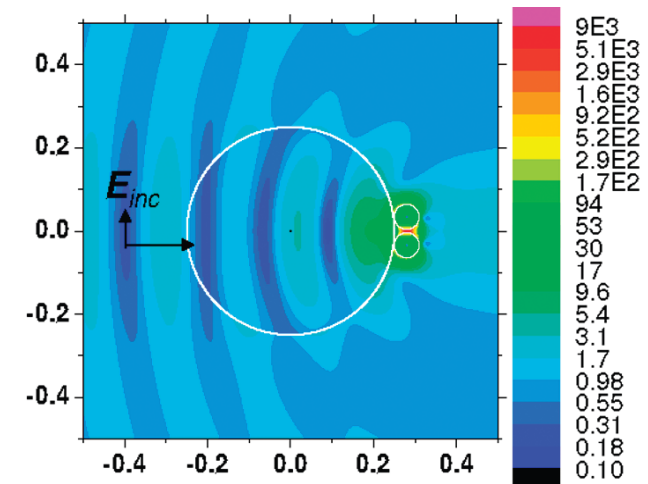
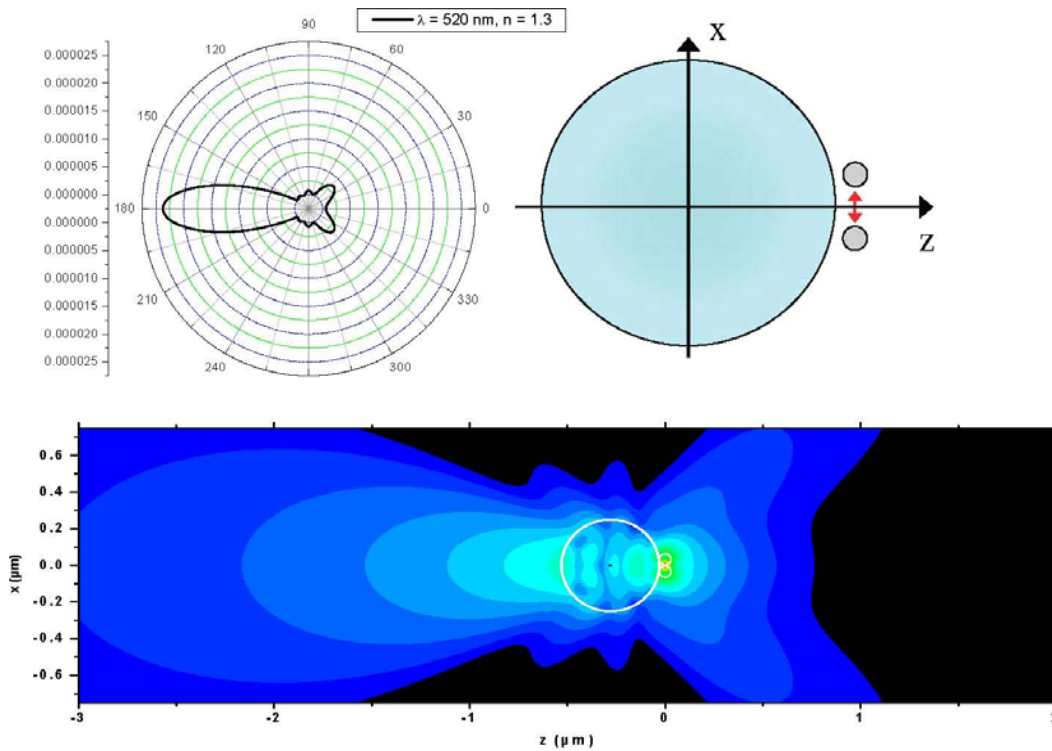
Antenne Yagi-Uda : Forte directivité



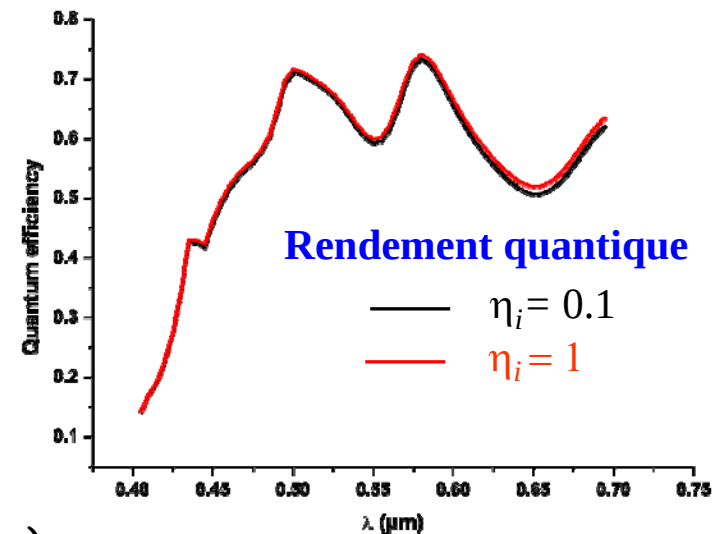
Stout, Devilez, Rolly, Bonod JOSA B, (2011)

Plasmonique : antenne métallo-diélectrique

Forte directivité
et
augmentation du rendement d'émission
sur un spectre large



Hot spot très intense
(onde plane incidente d'amplitude 1)

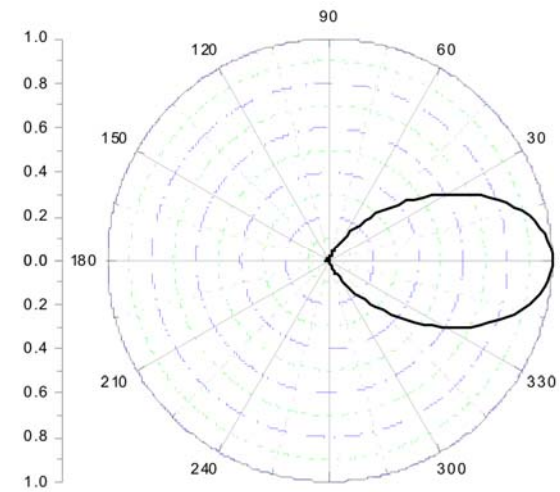
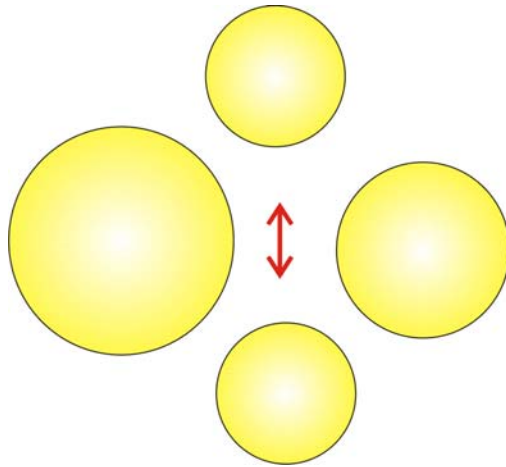


Devilez et al. ACSNano (2010)

Plasmonique : antenne ultra-compacte

Directivité et augmentation du rendement d'émission

Bonod et. al.
Phys. Rev. B 82
(2010)



Compacité : pas plus de 2 particules sur le même axe (simplification de fabrication)
diamètres < 100 nm

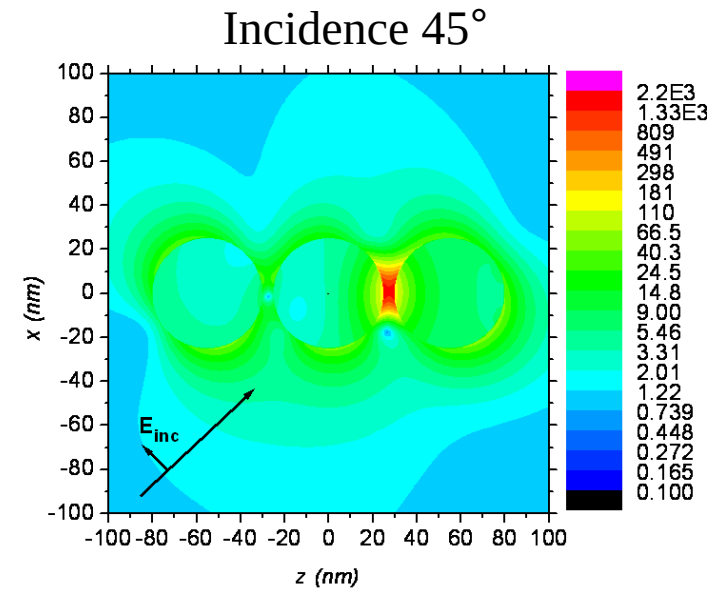
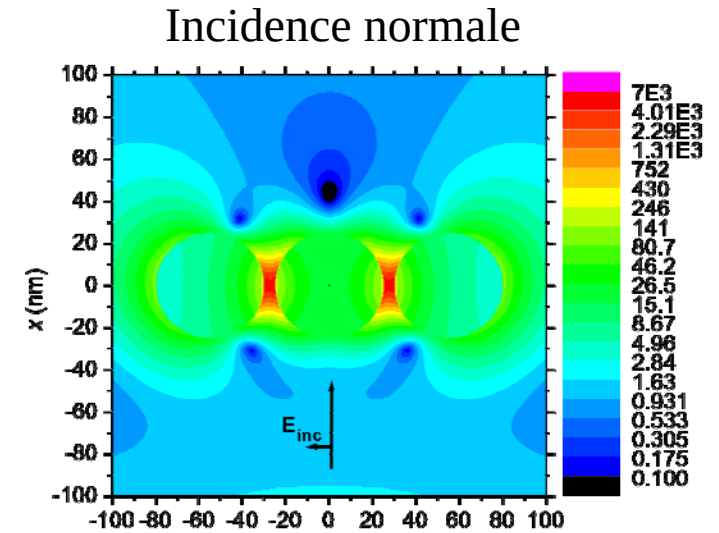
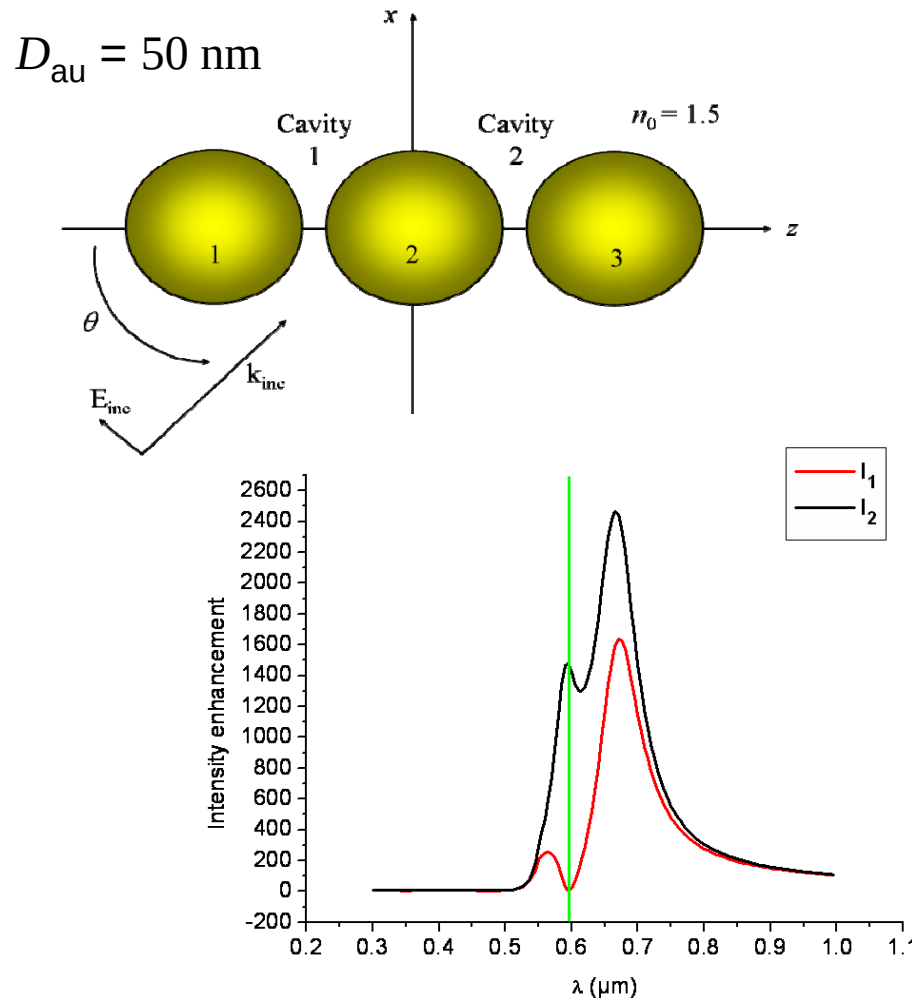
2 particules sur l'axe: optimisées en tenant compte des polarisations induites, de leurs phases et des distances (concept original) => bonne directivité avec peu d'éléments
2 particules hors axe => optimisation du rendement d'émission

Projet ANR BLANC en cours de dépôt, avec Institut Langevin et UTT :
fabrication par auto-assemblage par brins d'ADN,

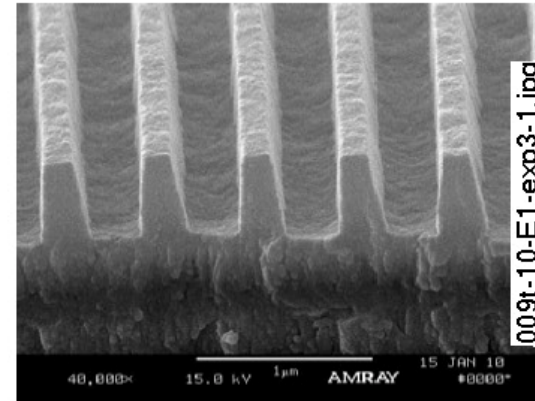
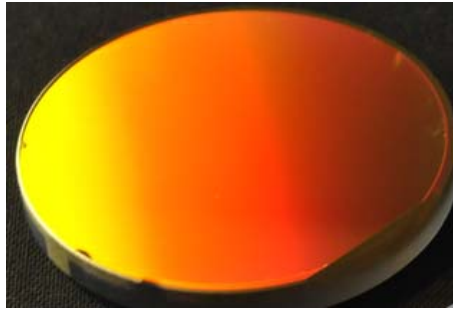
Plasmonique

Contrôle de points chauds en champ lointain (Couplages de modes d'excitation)

Devilez et al. Phys. Rev. B **81**, 2010



Réseaux de diffraction pour la compression d'impulsions



2 projets d'envergure

- Projet **PETAL**: laser PetaWatt en cours d'installation sur le site du CEA CESTA en Aquitaine
7.2 PW, 500 fs, 77.2 ° d'incidence, TE
- Projet **ELI**: Extreme Light Infrastructure

Problématique : optimisation de réseaux gravés sur des multicouches, avec

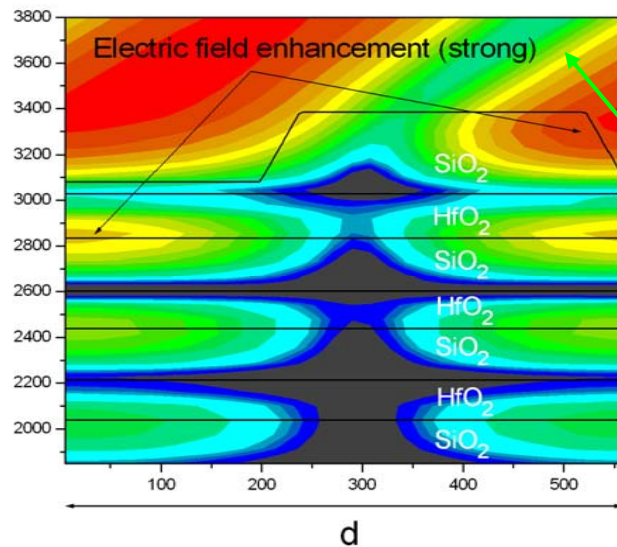
- cahier des charges strict sur les performances (réflectivité large bande)
- tenue aux flux intenses

PETAL - Réseaux diélectriques : gravure réalisée sur la couche supérieure d'un multicouche diélectrique

Empilement HfO₂/SiO₂, couche de silice superficielle gravée, 1780 tr/mm, 77.2°, TE

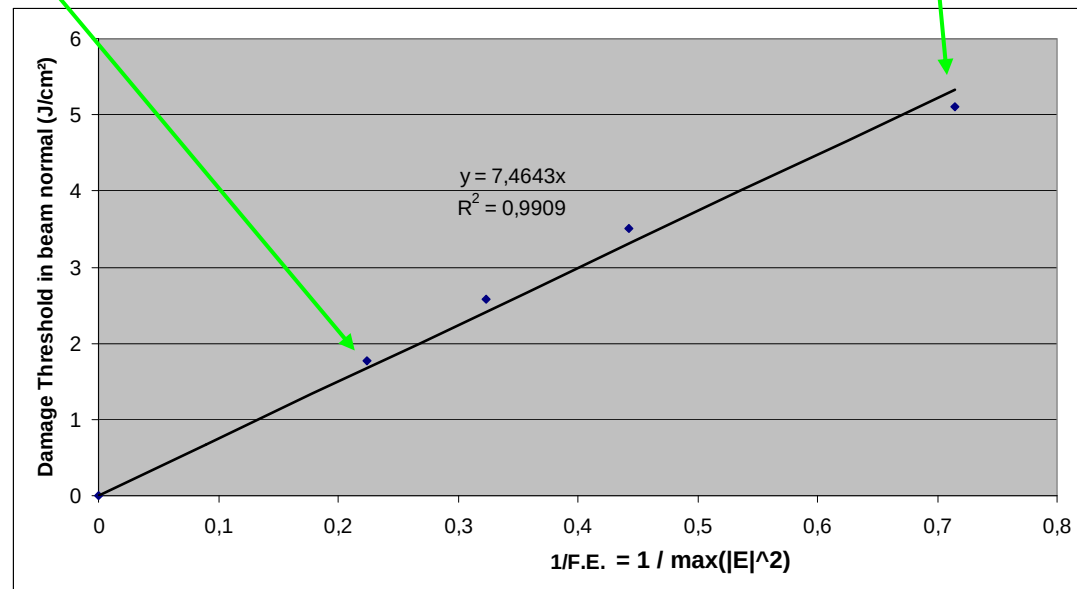
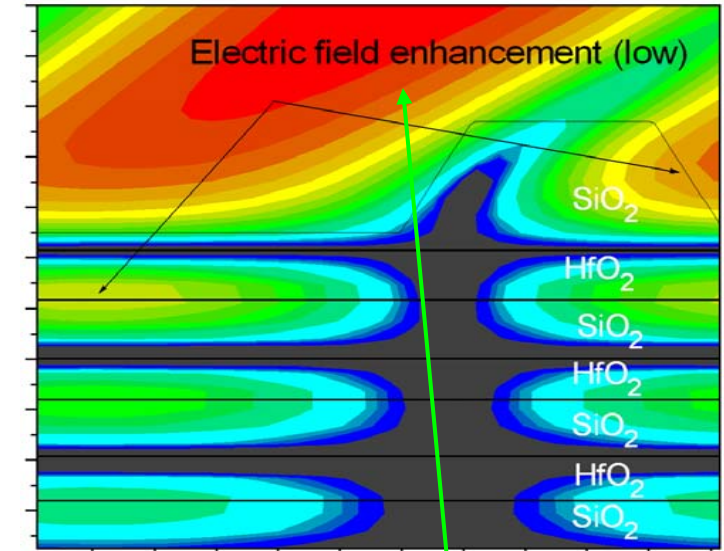
Collaboration: CEA CESTA, IF, Horiba Jobin Yvon

1. IF: Designs de la gravure
2. SAGEM/LITEN: dépôt de l'empilement 120x140 mm²
3. HJY: Gravure+ mesures AFM
4. IF: Estimation du renforcement de $|E|^2$
5. CEA CESTA: Mesure du seuil d'endommagement



Seuil d'endommagement $\propto$ Renforcement du champ
Valeur maximale de 5 J/cm² obtenue, plus haute valeur publiée à ce jour
 (en incidence normale)

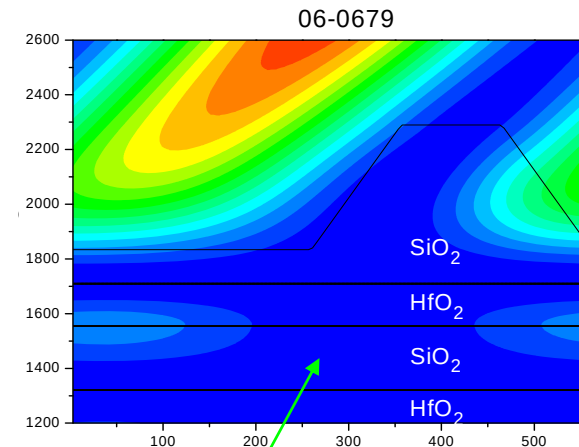
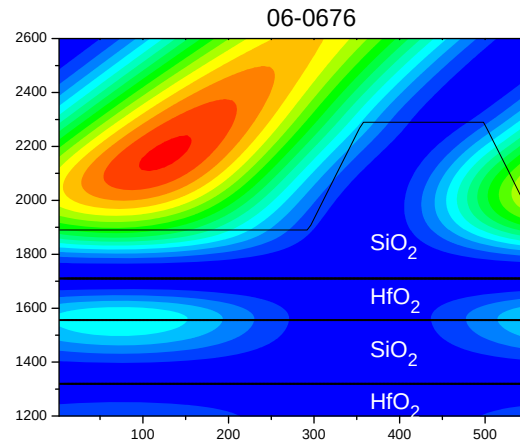
J. Neauport, N. Bonod, Opt. Express, (2007)



Réseaux mixtes métal-diélectrique

Objectif: Réduire le nombre de couches diélectriques

Principe: déposer l'empilement diélectrique sur une couche d'or déposée par évaporation sur le substrat



IF: Designs de l'empilement diélectrique et de la gravure

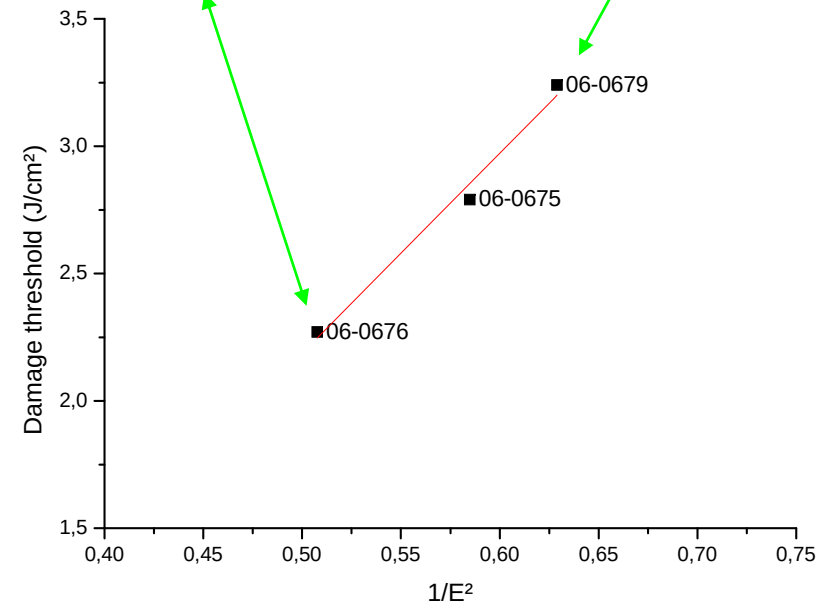
LITEN: dépôt de l'empilement 120 x 140 mm²

HJY: Gravure+ mesures AFM

IF: Estimation du renforcement de $|E|^2$

CEA CESTA: Mesure du seuil d'endommagement

J. Neauport, N. Bonod et al., Opt. Express (2010)

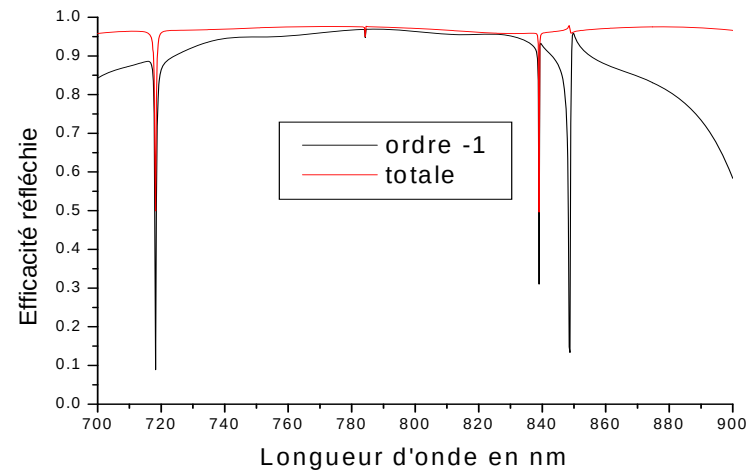
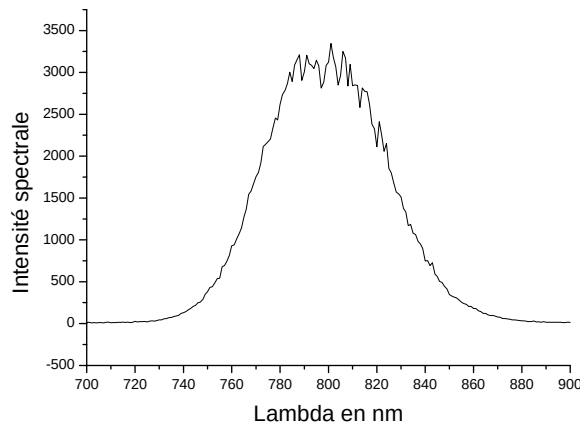


Projet ELI

Collaboration Ecole Polytechnique, Institut Fresnel

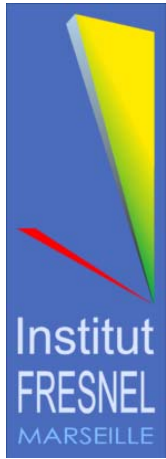
- Problématique : durée d'impulsion très courte => largeur spectrale très importante : 200 nm centrée autour de 800 nm
- Gravure dans le bas indice: silice car seuil d'endommagement élevé
- Optimisation de l'empilement puis de la gravure => pas de solution
- Solution : optimisation conjointe de l'empilement et de la gravure

Empilement déposé sur couche d'or, réduit à 7 couches, gravure dans la silice :



Brevet en cours de dépôt avec demande de PCT

Réseaux en cours de fabrication



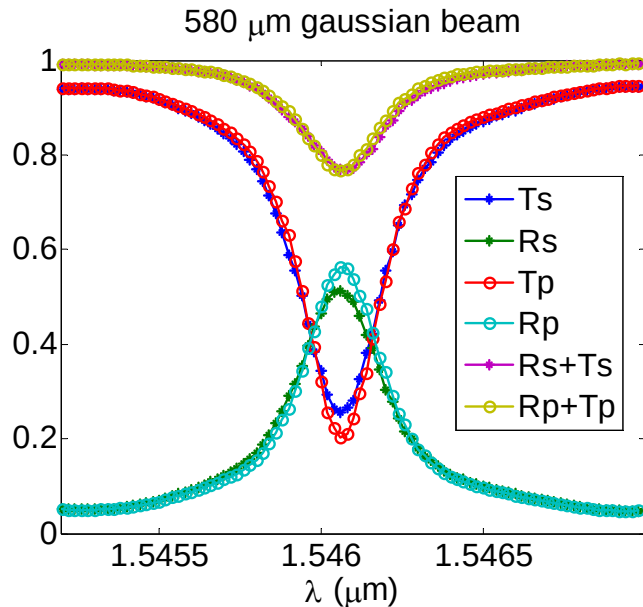
Réseaux résonnants pour le filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde

Collaboration (CLARTE-SEMO-RCMO) et LAAS (Toulouse), LPN (Marcoussis) Financements ANR FOREAC (PNano), CNES, ADEME

- *Quadriennal 2002-2006: 1^{ère} réalisation expérimentale*
 - réseau 2D carré en SiO₂, incidence normale: facteur $Q=\lambda/\Delta\lambda=3300$
 - Limitations: tolérance angulaire du filtre < divergence du faisceau incident (composant 1 mm²) et défauts de fabrication

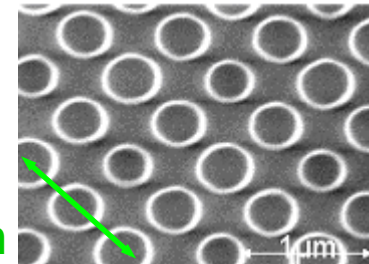
- *Quadriennal 2006-2010:*
 - Nouvelles configurations: maille hexagonale, incidence oblique
 - Réseau haut indice (Ta₂O₅): tolérance angulaire > divergence du faisceau incident => limitations uniquement dues aux défauts de fabrication

Réseaux résonnants pour le filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde



Théorie $Q=7000$ ($\Delta\lambda=0.21\text{nm}$)
Expérience $Q=5500$ ($\Delta\lambda=0.28\text{nm}$)

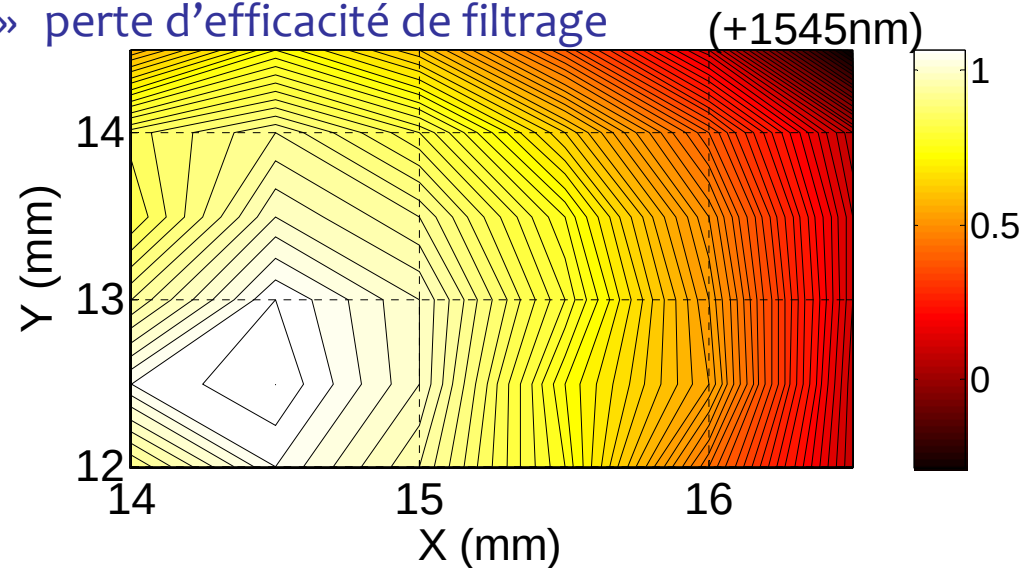
$d = 980\text{nm}$



- Analyse des défauts de fabrication
 - *impact négligeable (après optimisation du process de fabrication):*
raccords de champ (réseau parasite), inhomogénéités haute fréquence (désordre dans la forme, taille, profondeur et position des trous)

Réseaux résonnants pour le filtrage ultra-sélectif en longueur d'onde

- Impact limitant : **inhomogénéités large échelle** (dérive de période, épaisseur, indice de couches, **diamètre et profondeur des trous**)
 - » dérive de la longueur d'onde de résonance
 - » élargissement spectral
 - » processus couplage/découplage du mode incomplet
 - » perte d'efficacité de filtrage



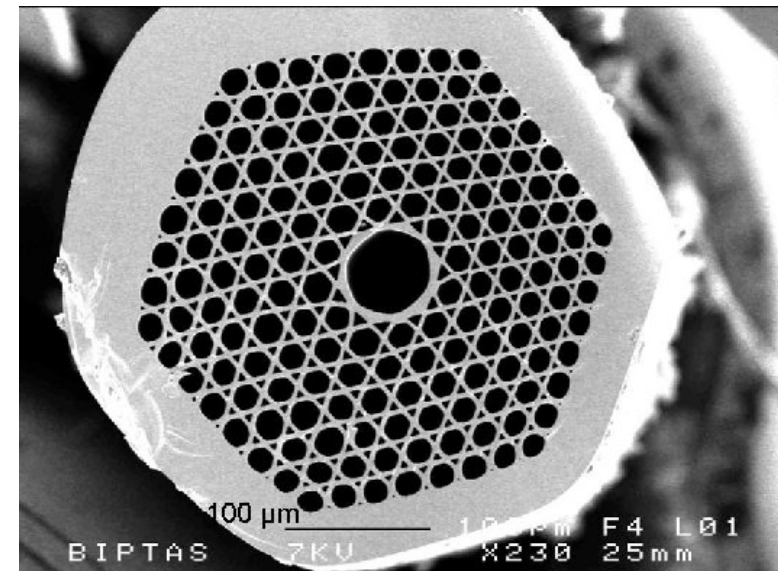
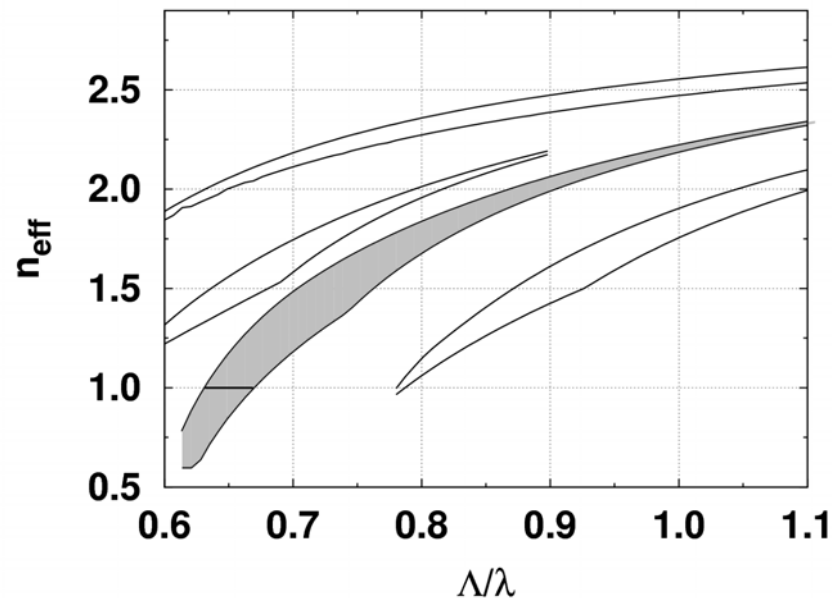
- **Axes de développement** : accordabilité (angulaire ou avec des matériaux actifs), autres longueurs d'onde (infra-rouge), réseaux à fort contraste d'indice...

Fibres microstructurées

But: guider dans les gammes infrarouge 3-5 μm ou 8-12 μm des flux lumineux de puissance. Pas de solution existante.

Méthode: conception d'une fibre à cœur creux entourée d'une structure à bande interdite. Matrice en verres de chalcogénure transparents dans la gamme 3-5 μm ou 8-12 μm . Forme spécifique pour l'anneau entourant le cœur creux afin de réduire les pertes de guidage de la fibre.

Cadre: collaboration entre le LVC, Perfos et Fresnel qui date de 2005 (contrat DGA, ANR, MRCT du CNRS).

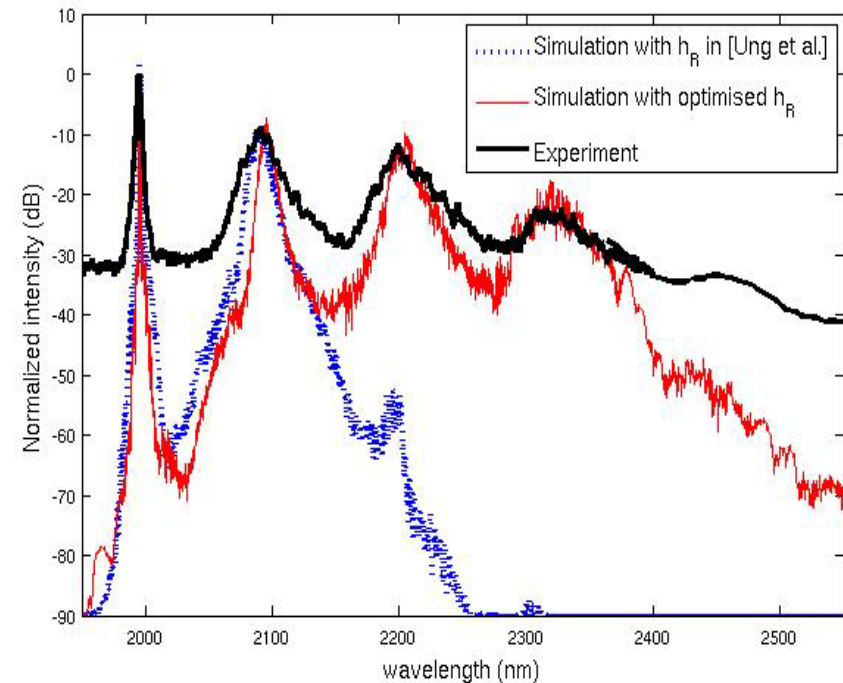
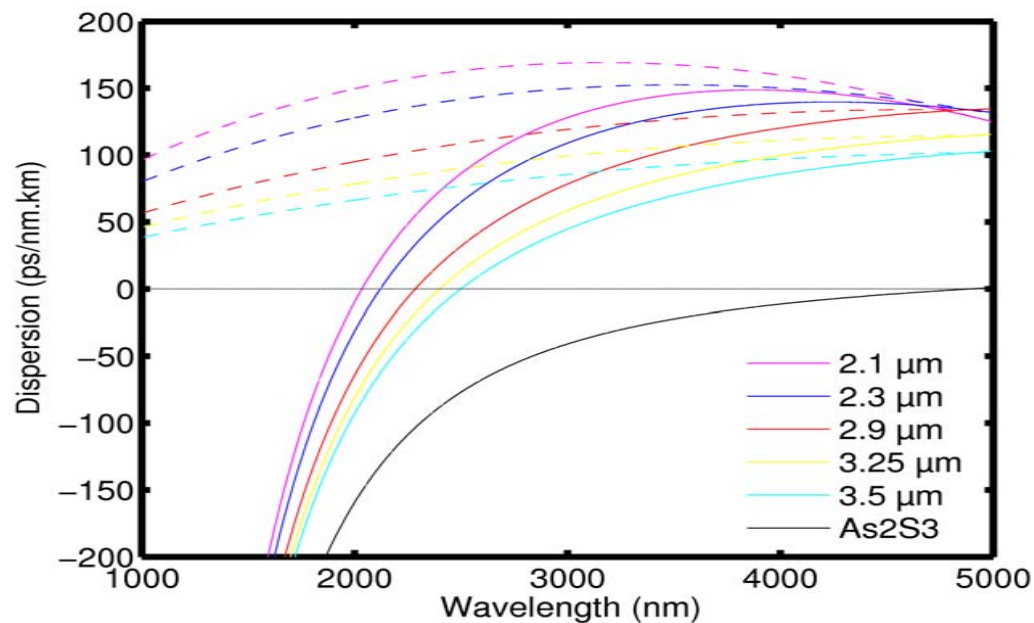
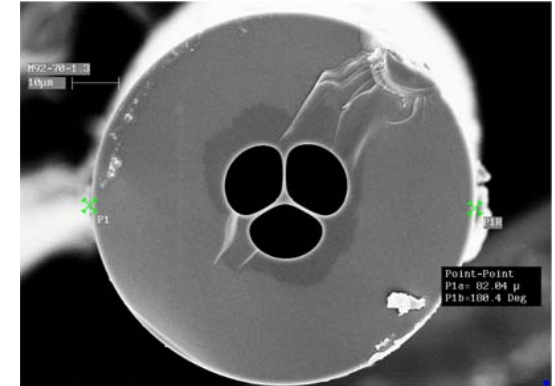


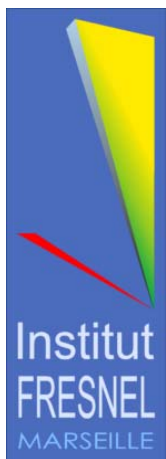
Fibres microstructurées

Conception de fibres à coeur suspendu en verre de chalcogénure pour la génération d'un supercontinuum dans le moyen infrarouge à partir des propriétés linéaires et nonlinéaires (première mondiale).

Applications: biophotonique, métrologie, télédétection LIDAR

Réalisation à l'EVC et l'ICB à Dijon, et caractérisation par l'ONERA à Palaiseau





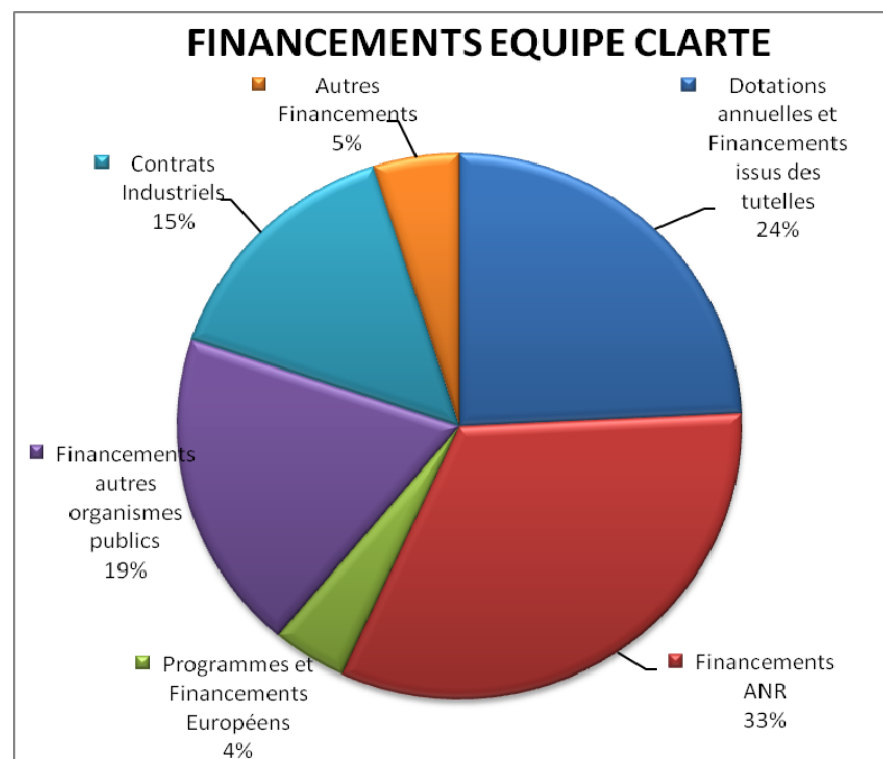
Production Scientifique

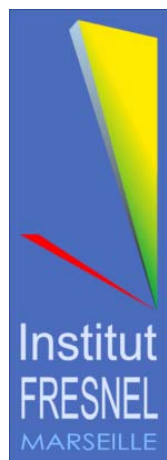
• ACL	<i>(Articles dans revues internationales ou nationales avec comité de lecture)</i>	161
• ASCL	<i>(Articles dans revues internationales ou nationales sans comité de lecture)</i>	5
• INV	<i>(Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation)</i>	16
• ACTI	<i>(Communications avec actes dans congrès international)</i>	17
• ACTN	<i>(Communications avec actes dans congrès national)</i>	2
• COM	<i>(Communications orales sans actes dans congrès international ou national)</i>	62
• OS	<i>(Ouvrages scientifiques - ou chapitres de ces ouvrages -)</i>	5
• AP	<i>(Autre Production ou Média)</i>	30
• B	<i>(Brevets, Licences, Logiciels)</i>	4

Recettes

Récapitulatif des Financements

Dotations Annuelles et Financements issus des Tutelles	239 426 €
Financements ANR	321 938 €
Programmes et Financements Européens	42 267 €
Financements Collectivités	-
Financements Autres Organismes Publics	188 066 €
Contrats Industriels	147 702 €
Autres Financements	48 461 €
TOTAL	987 863 €





Rayonnement - Collaborations

ANR (souligné)
Nationales
Internationales

Mathématiques appliquées

Univ. Liverpool
Imperial College
Univ. Cagliari
ANAM (Toulon)

Expérience

ICB (Dijon)
IEMN (Lille)
LAAS (Toulouse)
LPN (Marcoussis)
LVC (Rennes)
PERFOS (Lannion)
X-Lim (Limoges)
Phlam/IRCICA (Lille)
IEF (Orsay)
GEMAC (Versailles)
FOTON/ENSSAT (Lannion)
FEMTO-ST (Besançon)
ONERA DOTA
ICFO (Barcelona)
ICMM (CSIC, Madrid)

Modélisation

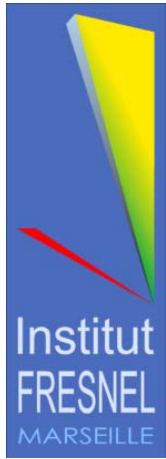
IEF (Orsay)
GES (Montpellier)
LASMEA (Clermont)
ESPCI & EM2C
Univ. Sydney
Univ. Valencia
Univ. Liège
Univ. Sienne
Univ. Trente
Univ. Tsinghua
Univ. Kânpur
Univ. St Petersburg
Univ. Wroclaw (Poland)

Théorie

AMOLF (Amsterdam)...

Applications

CEA
CNES
DGA
Jobin-Yvon
Thales Alenia Space
PERFOS (Lannion)
ILE (Palaiseau)

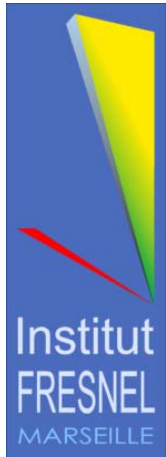


Rayonnement - Organisation de conférences

- Organisation de la SSOP (Summer School On Plasmonics), 13-17 Septembre 2009, Iles de Porquerolles, France.
- Co-organisation du British Science Festival qui s'est tenu à Liverpool en Septembre 2008 (S. Guenneau).
- Organisation d'une session de la conférence Waves (EPSRC/INRIA) à l'Université de Reading en Juillet 2007 (S. Guenneau).
- Organisation d'une session du British Applied Mathematics Colloquium en mars 2008 à l'Université de Manchester (S. Guenneau).
- Participation au comité d'organisation et de lecture de plusieurs conférences internationales (IEEE Compumag, EPNC, EMF) (A. Nicolet).
- Co-présidence de "Nanophotonics, Metamaterials and Optical Microcavities" (EOS Annual Meeting 2006, Paris) (S. Enoch).

A venir :

- Présidence du comité d'organisation des Journées Nationales d'Optique Guidée dans le cadre d'Optique Marseille en juillet 2011 (G. Renversez).
- Organisation de la conférence internationale ETOPIM 2012 à Marseille (par plusieurs membres de l'équipe CLARTE).
- Présidence du comité scientifique de Numélec, organisée à Marseille en 2012 (A. Nicolet).



Rayonnement

Prix et Distinctions

Stefan Enoch - Médaille de bronze du CNRS en 2006

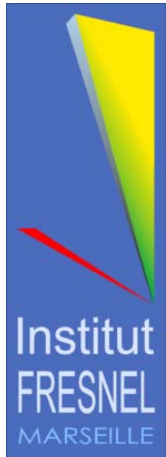
Membres de comités éditoriaux

- *membre du comité éditorial du Journal of Modern Optics (S. Enoch)*
- *éditeur associé Optics Express de l'Optical Society of America (S. Enoch)*

Activités d'intérêt collectif

- *Conseillers scientifiques du CEA-DAM: D. Maystre et S. Enoch*
- *Experts à l'ANR : E. Popov, S. Enoch.*
- *Membre du comité national de la recherche scientifique en section 08 : S. Enoch (2004-2008)*
- *Membres du conseil scientifique du département ST2I : S. Enoch (2008-2009), B. Gralak (2010 ->)*
- *Membre du CNU en section 30: G. Renversez*
- *Représentant de la France dans le Comité de Direction de l'Action COST MPo702: E. Popov (2008 ->)*
- *Membre du comité scientifique du club Journées Nationales d'Optique Guidée : G. Renversez*

+ Autres activités dans les instances locales ...



HDR – Thèses – Devenir Doctorants

- HDR soutenues : **4**
- Thèses en cours : **7**
- Thèses soutenues entre 2006 et 2010 : **10**

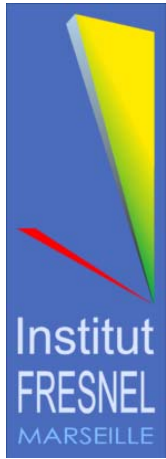
Insertion professionnelle des doctorants

4 post-doc (1 USA, 3 France)

4 ingénieurs (2 Thalès, CommProve Italie, 1 ESA Pays-Bas)

1 MCF

1 recherche d'emploi



Doctorants et post-doctorants

Thèses soutenues depuis 2006

1. BOYER Philippe (MENRT), 10/2006
2. BENELLI Giacomo (MENRT), 01/2007
3. OULD AGHA Yacoub (Mauritanie), 12/2007
4. HERNANDEZ Stéphan (CNES), 07/2008
5. DROUART Fabien (CNRS BDI), 11/2008
6. PIERRE Raphaël (MENRT), 12/2008
7. GODARD Pierre (MENRT), 09/2009
8. FARHAT Mohamed (MENRT), 11/2009
9. SMIGAJ Wojciech (MENRT), 09/2010
10. DEVILEZ Alexis (MENRT), 10/2010

Thèses en cours

1. CHAN SHIN YU Kristel (CNES)
2. KADIC Muamer (MENRT)
3. SHU Da (China Scholarship Council)
4. DUPONT Guillaume (MENRT)
5. LIU Yan (China Scholarship Council)
6. CHANG Tieh-Ming (Erasmus)
7. PASTORELLI Francesco (Erasmus)
8. ROLLY Brice (MENRT)

Post-doctorants

1. JIANG Hai-tao (FFCSA, 18 mois)
2. VASILIEF Ion (DGA, 18 mois)
3. ROMERO-VIVAS Javier (ANR, 24 mois)
4. SZPULAK Marcin (12 mois)
5. PIERRE Raphaël (ANR, 6 mois)
6. CABUZ Alexandru (12 mois)
7. NGUYEN Thanh Nam (4 mois)
8. CHAKRABARTI Sangeeta (6 mois)