

GOSPEL

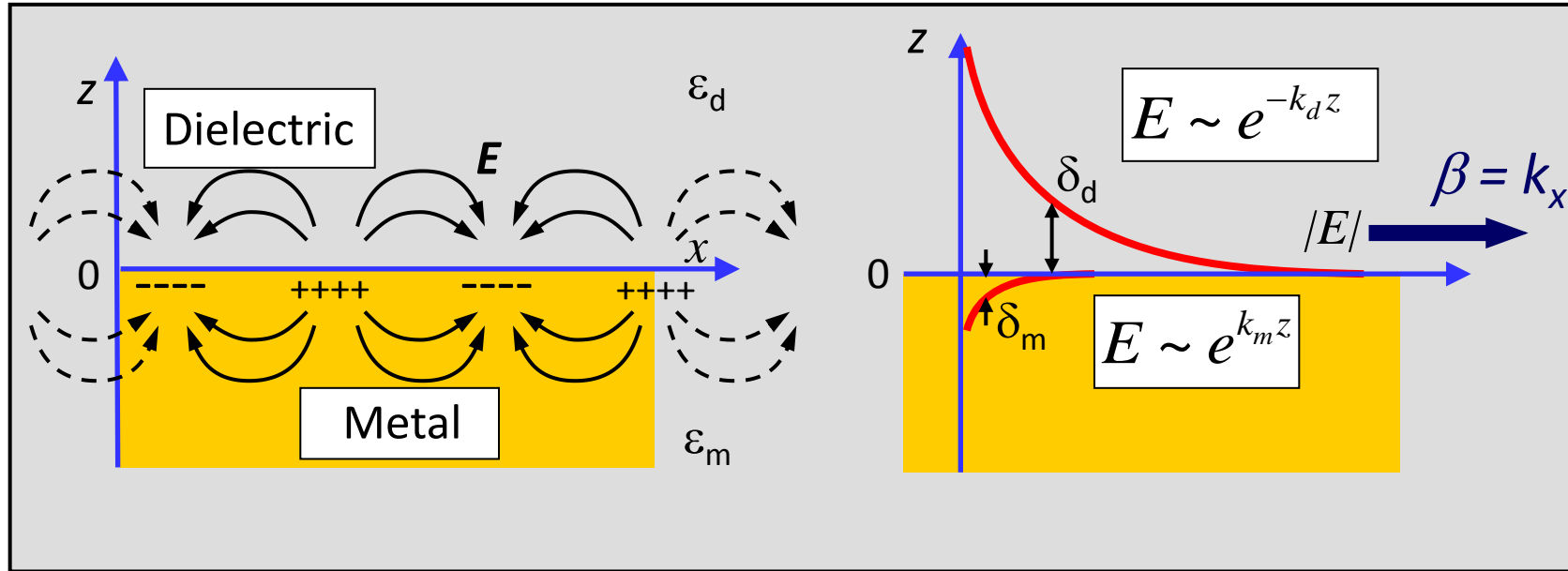
Génération électrique de plasmons de surface

Adel Bousseksou

IEF, Université Paris-Sud et CNRS

Journées Nationales Nanosciences et
Nanotechnologies 2012

Plasmons de Surface?

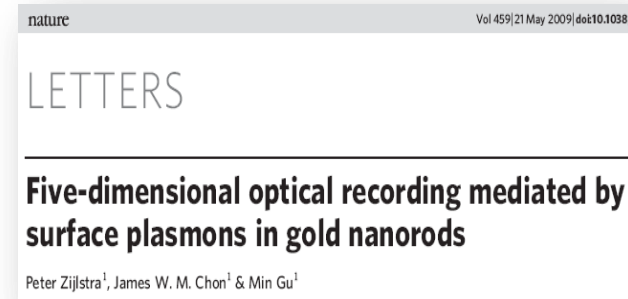


$z < 0$	$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \propto e^{i\beta x} e^{k_m z}$	<p>⊥ Interface (z) : Onde évanescente (k_m, k_d)</p> <p>// Interface (x) : Onde propagative (β_x)</p>
$z > 0$	$\mathbf{E}(\mathbf{r}) \propto e^{i\beta x} e^{-k_d z}$	

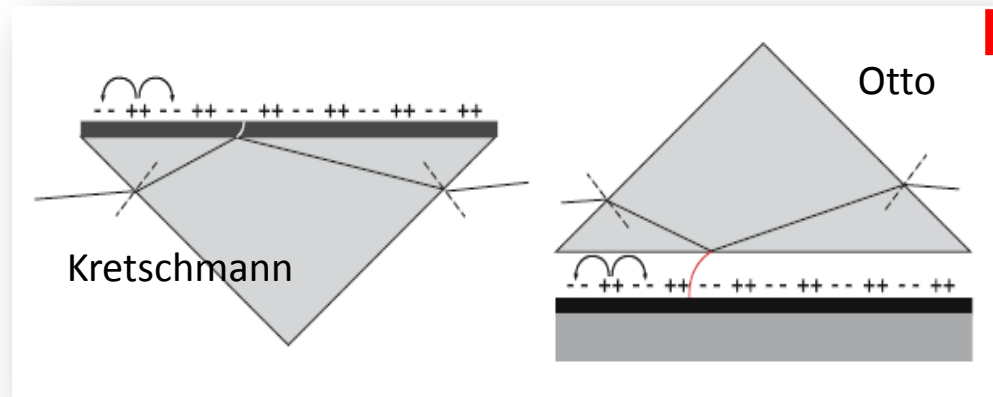
Le champ électrique est essentiellement perpendiculaire à l'interface diélectrique/métal (La polarisation est Transverse Magnétique TM).

Les plasmons de surface : Pourquoi faire?

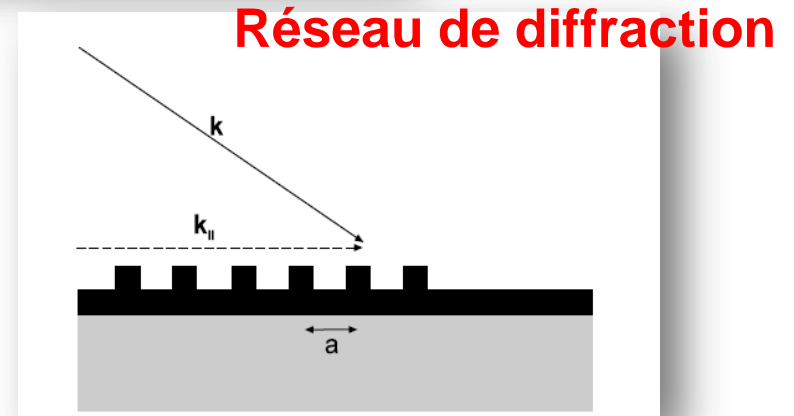
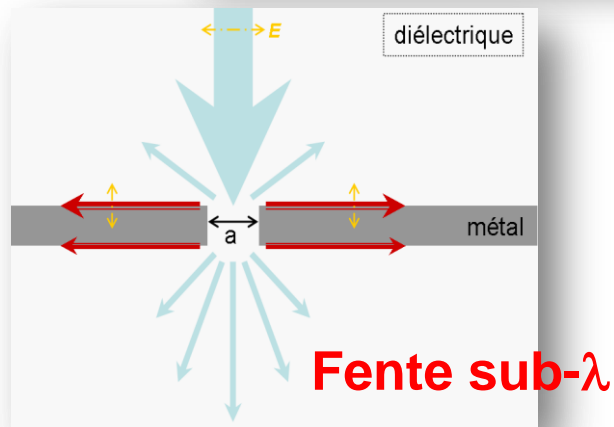
- Exaltation des phénomènes de surface (ex. surface-enhanced Raman scattering)
- Applications à la bio-détection :
DéTECTEURS à résonance de plasmons
- Plasmons localisés: donnent la couleur aux verres!
- Applications médicales dans la thérapie des tumeurs
- Applications à l'enregistrement des données
- Guides optiques compacts à plasmons de surface



Techniques (classiques) de génération de plasmons de surface



Prisme



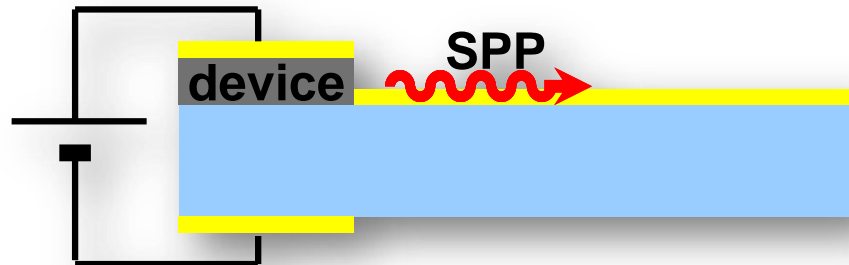
Réseau de diffraction

Une source optique externe d'excitation est nécessaire !!

Nouvelles approches de génération de plasmons de surface

Une autre approche :

- Un laser à semi-conducteur pour la génération de plasmons



Intégration d'un milieu à gain → Compensation des pertes de propagation / Amplification.

Applications:

- Nanolasers, conversion d'énergie (énergie photovoltaïque), meta-matériaux , microscopie en champ proche....

GOSPEL

- N° ANR (*ex: ANR-09-NANO-020*)
- Acronyme du projet : **GOSPEL** , **Génération Electrique de Plasmons de surface**
- Date de démarrage du projet : Entre Janvier et Avril 2010 (selon le partenaire)
- Durée du projet : 36 Mois (+9, extension à septembre 2013)
- Partenaires :
 - Institut d'Electronique Fondamentale, Orsay (coordinateur).
 - Thales 35Labs, Palaiseau .
 - IOGS, Palaiseau.
 - Institut Langevin, ESPCI, Paris .
 - MPQ, Université Paris Diderot, Paris.

Les partenaires du projet

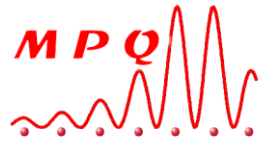
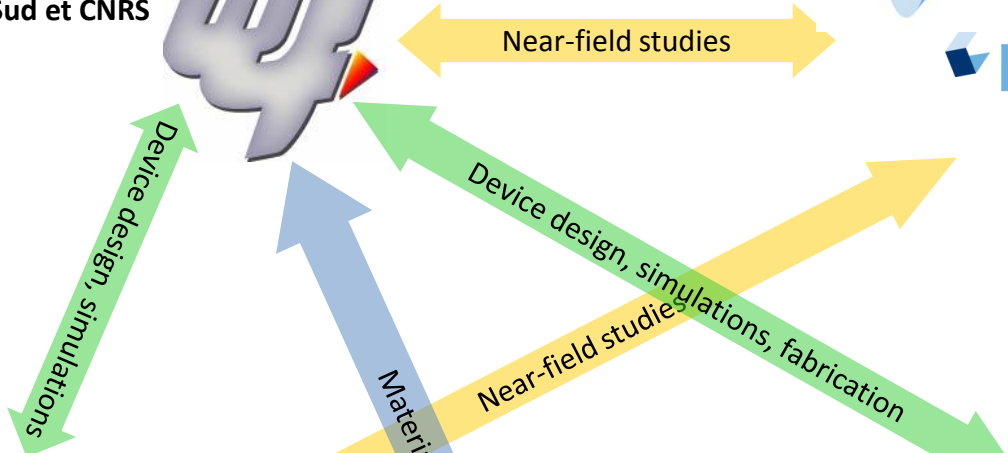
Institut d'Électronique
Fondamentale
Université Paris Sud et CNRS
Orsay



Institut **Langevin**
ONDES ET IMAGES



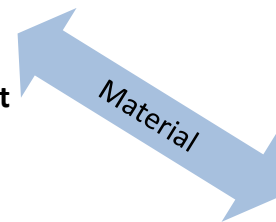
ESPCI – Paris Tech
Paris



Laboratoire MPQ
Université Paris Diderot



Institut d'Optique – GS
Palaiseau



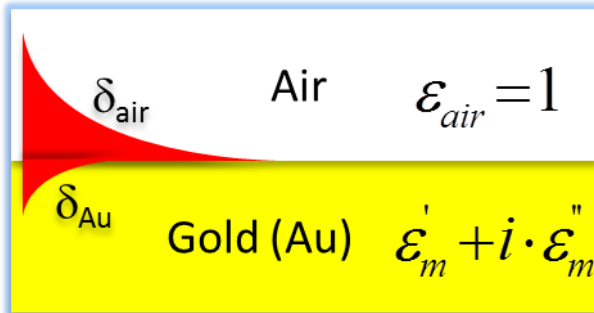
35 Labs – Thales
Palaiseau



Principaux objectifs du projet Gospel

1. Développer des milieux à gain aux courtes longueurs d'onde (telecom) polarisé TM.
2. Développer des outils appropriés pour la microscopie en champ proche dans le proche infrarouge.
3. Générer et/ou amplifier les plasmons de surface avec un dispositif semi-conducteur compact.
4. Construire des composants de base pour la plasmonique (Cavités Patch, lanceur de plasmons...)

Du moyen au proche infrarouge: mêmes enjeux?



Les pertes de propagation ?

- Grandes longueurs d'onde: *Problème du confinement.*
- Courtes longueurs d'onde : *Problème des pertes.*

Le confinement?

	$\epsilon'_{Au} + i \cdot \epsilon''_{Au}$	L_x	δ_{air}	δ_{Au}
Visible ($\lambda=650\text{nm}$)	$-9.9 + 1.1 i$	$8 \mu\text{m}$ ☹️	310 nm 😊	31 nm
Infrarouge moyen ($\lambda=7.5 \mu\text{m}$)	$-1877 + i \cdot 673$	7 mm 😊	$55 \mu\text{m}$ ☹️	28 nm

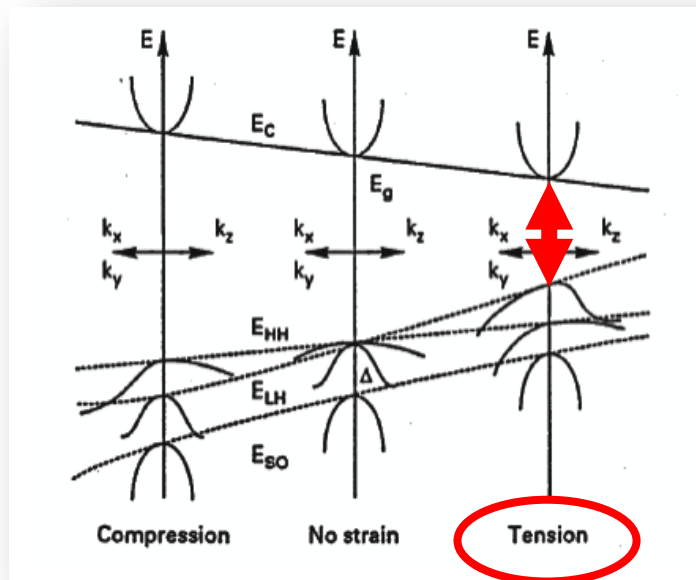
Principaux objectifs du projet Gospel

1. Développer des milieux à gain aux courtes longueurs d'onde (telecom) polarisé TM.
2. Développer des outils appropriés pour la microscopie en champ proche dans le proche infrarouge.
3. Générer et/ou amplifier les plasmons de surface avec un dispositif semi-conducteur compact.
4. Construire des composants de base pour la plasmonique (Cavités Patch, lanceur de plasmons...)

Milieux à gain pour une polarisation (TM)

- Moyen-Infrarouge: Les lasers à cascade quantiques (QCLs) sont exclusivement TM.
- Proche Infrarouge ($\lambda=1.3-1.55\mu\text{m}$): Laser à diode

Les puits quantiques contraints en tension favorisent une émission TM.



Principe: La tension dans les puits réduit le Gap et favorise l'émission entre la bande de conduction et la bande des trous légers.

$$\Delta E_{\text{Gap}} = E_C - E_{\text{Light Hole band}}$$



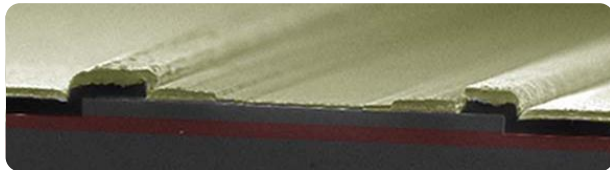
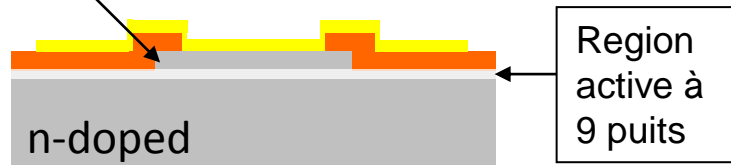
Emission TM

Notre choix: Région active avec 9 puits quantiques qui émettent à 1.3 μm

Effets de la proximité du métal sur la région active

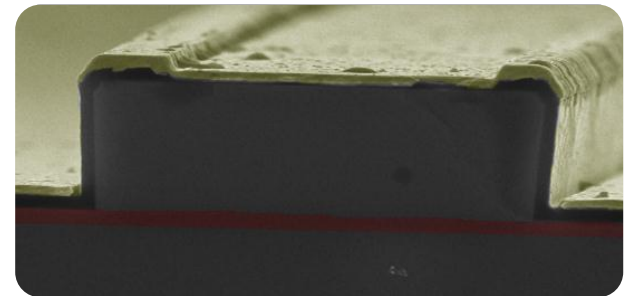
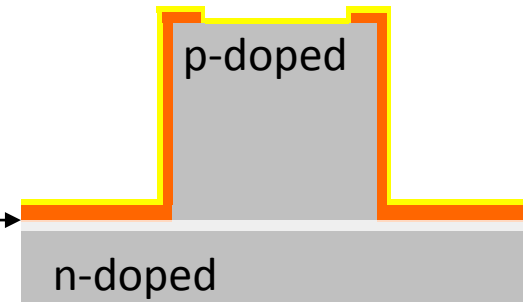
Laser avec guide modifié: *Cladding supérieur 450nm*

p-doped



Laser avec guide standard: *Cladding supérieur (2800nm)*

p-doped



Proximité du métal sur la région active (résultats)

○ Mesures passives des guides et simulations

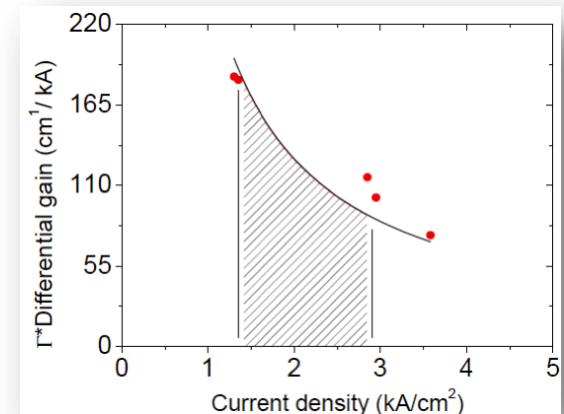
- ✓ Comme attendu les pertes optiques du guide fin sont élevées **$\sim 100 \text{ cm}^{-1}$ en polarisation TM.**

	Mesures		Simulation	
	TE	TM	TE	TM
<i>Cladding standard (2800nm)</i>	3.7	5	3.7	5
Cladding fin (450nm)	13	x	15.7	136.2

○ Mesures actives des lasers sous leur seuil

Le Gain différentiel des cette région active est grand **$\sim 100 \text{ cm/kA}$!!!**

IEEE J. Quantum Electronics 48, 1 (2012)



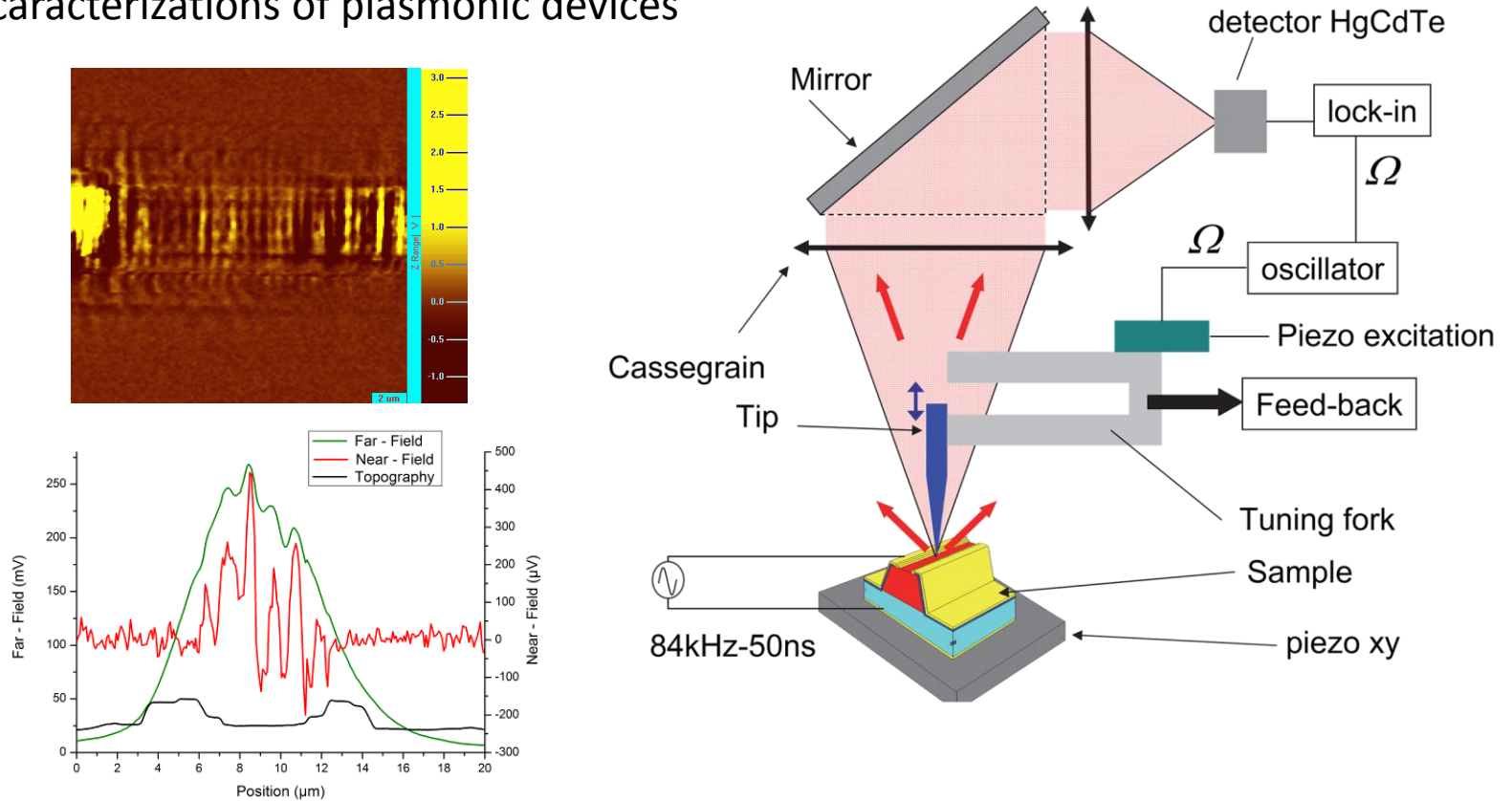
La question qui se pose: **Est-ce possible de compenser les pertes des plasmons?**

Principaux objectifs du projet Gospel

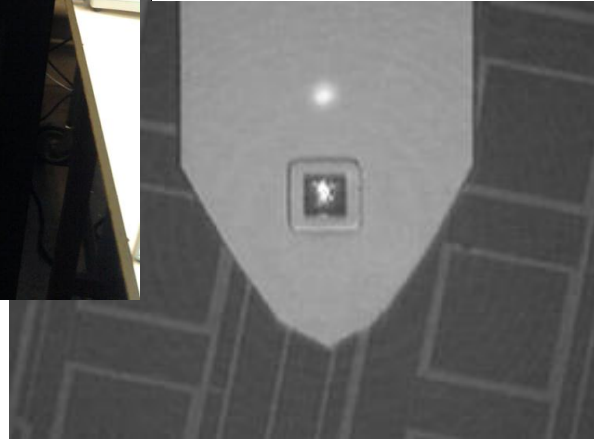
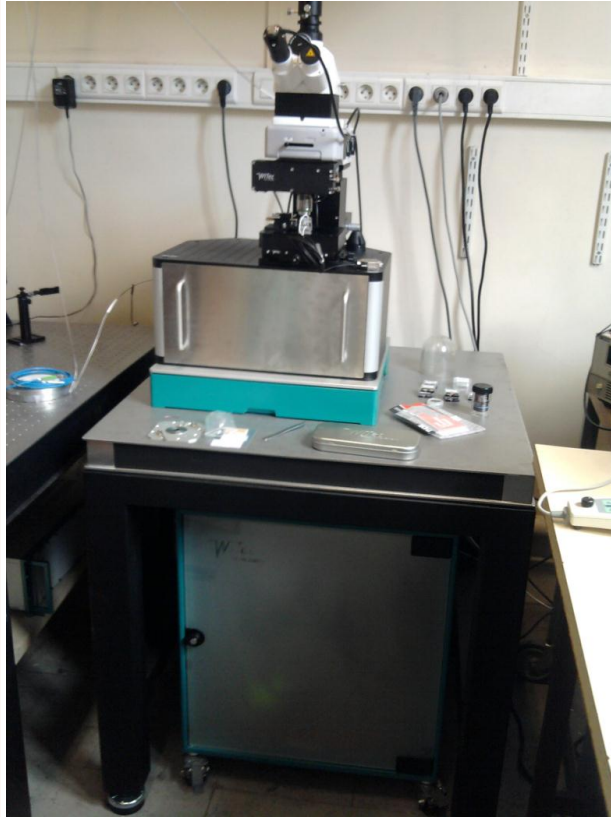
1. Développer des milieux à gain aux courtes longueurs d'onde (telecom) polarisé TM.
2. Développer des outils appropriés pour la microscopie en champ proche dans le proche infrarouge.
3. Générer et/ou amplifier les plasmons de surface avec un dispositif semi-conducteur compact.
4. Construire des composants de base pour la plasmonique (Cavités Patch, lanceur de plasmons...)

Le SNOM: Outil indispensable pour sonder les plasmons de surface

Home-made setup for mid-IR characterizations of plasmonic devices

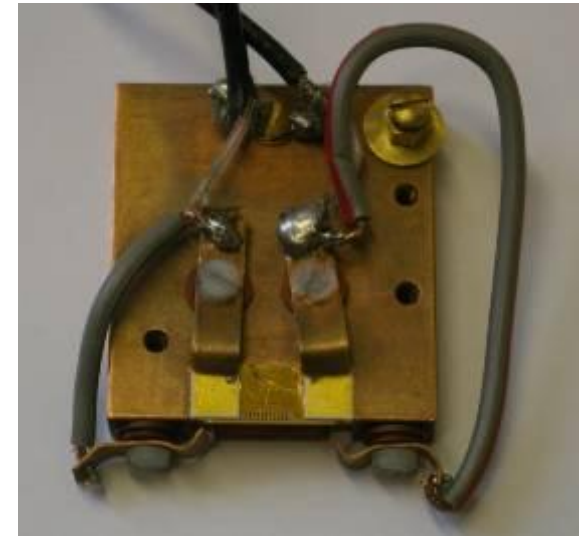


Nouveau banc de mesure pour le proche-Infrarouge



Witec (GmbH)

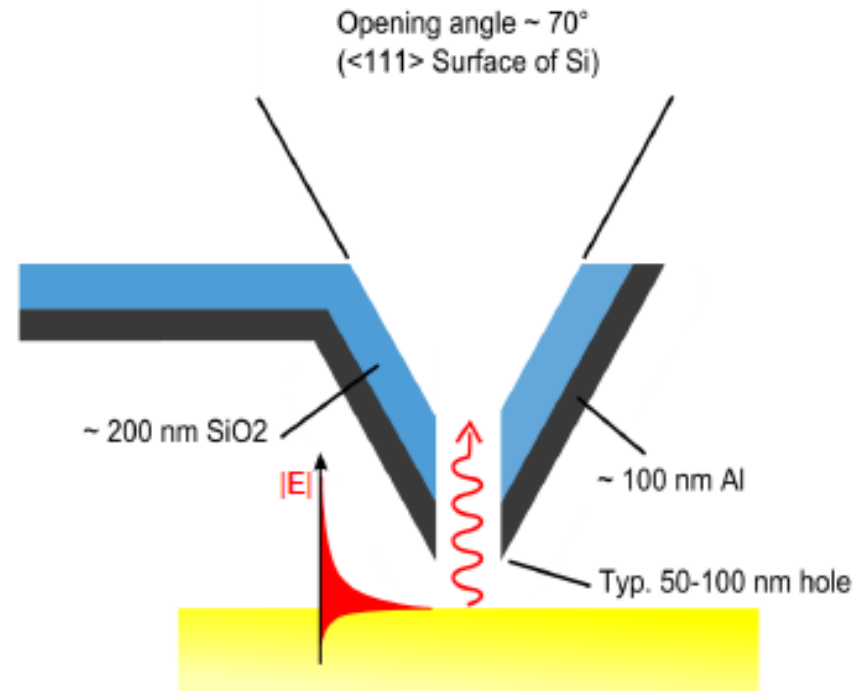
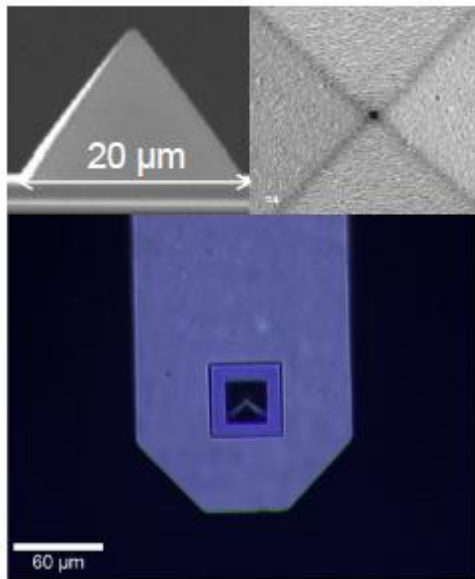
- Prévu pour la gamme du visible par le constructeur
- Il a été adapté pour le proche Infrarouge dans le cadre de GOSPEL



SNOM Witec: Principe

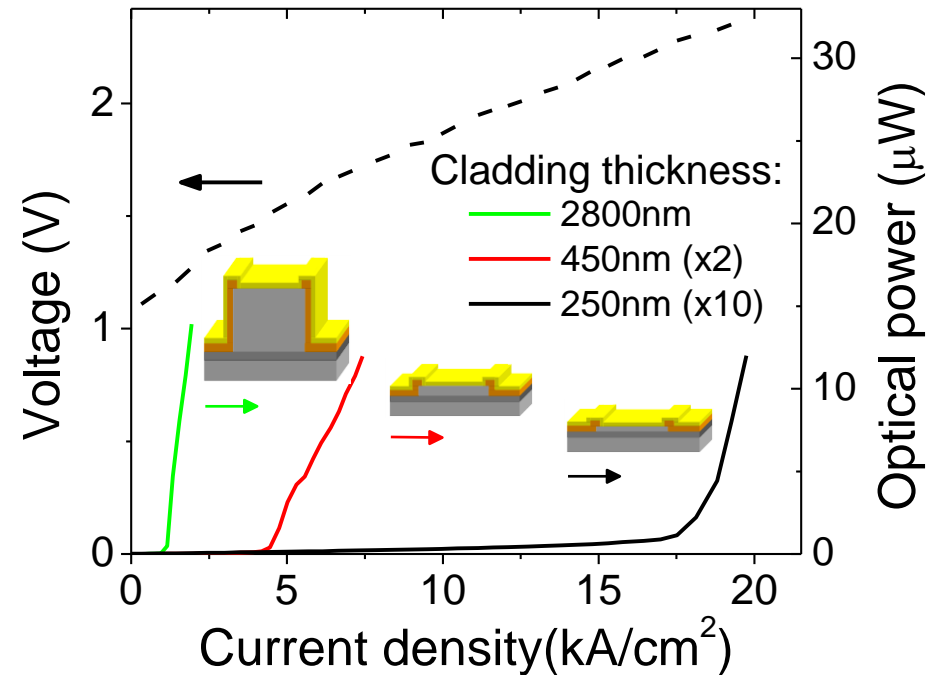
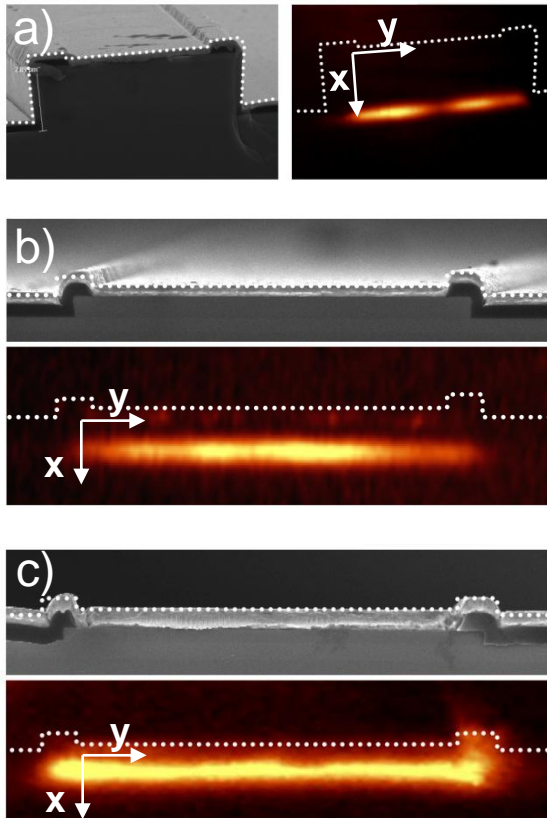
-Pointe en forme de Pyramide métallisée.

-Le champ évanescent est transmis via un trou au sommet de la pyramide.

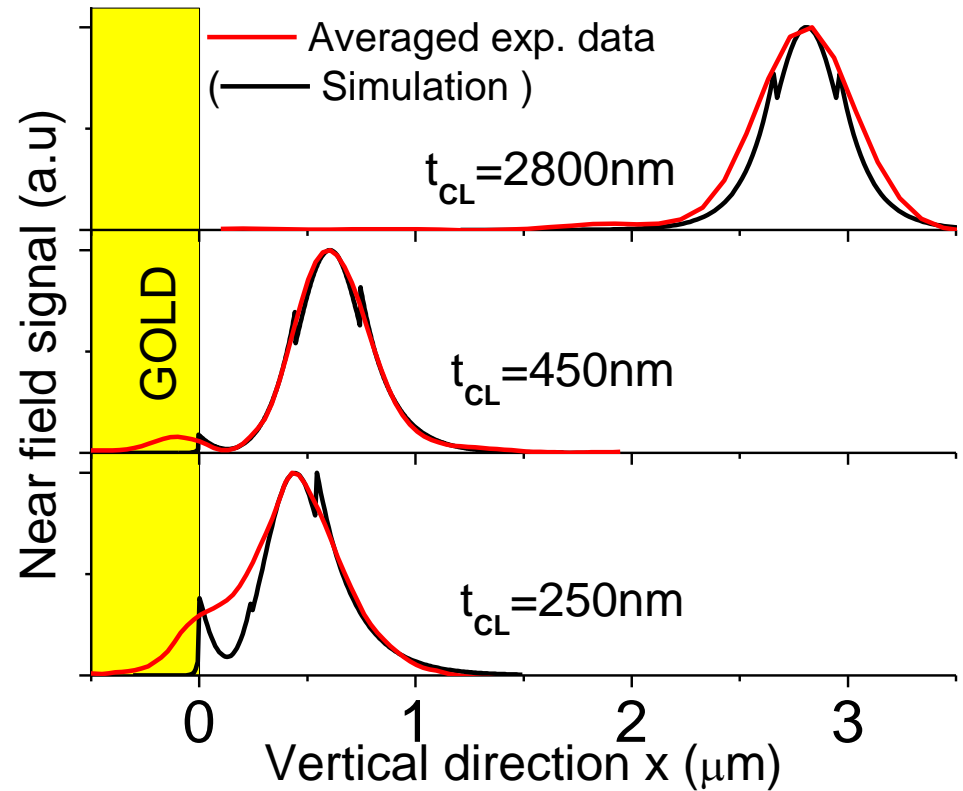
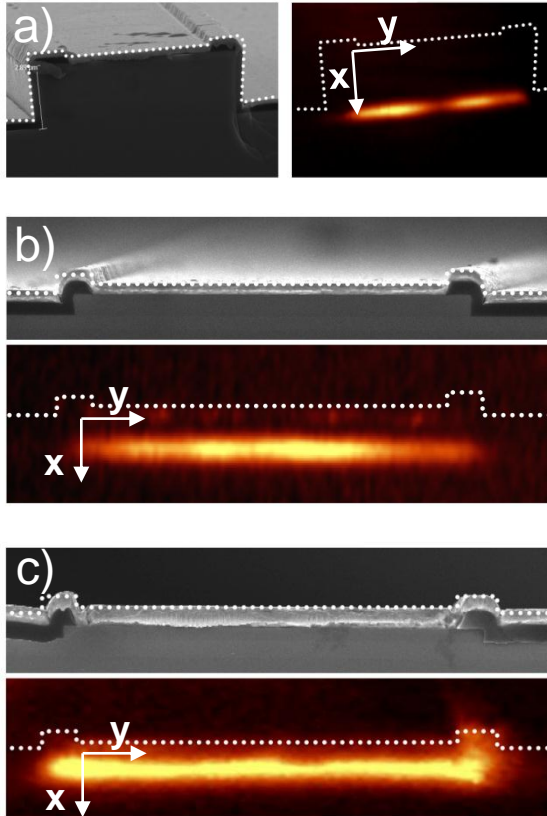


SNOM Witec: Premières caractérisations

- Mesure directe du champ présent sur la facette d'émission du laser →
- Identification des modes du laser (caractère plasmonique du mode)!
- Le Snom permet de voir le « SPASER »



SNOM Witec: Premières caractérisations

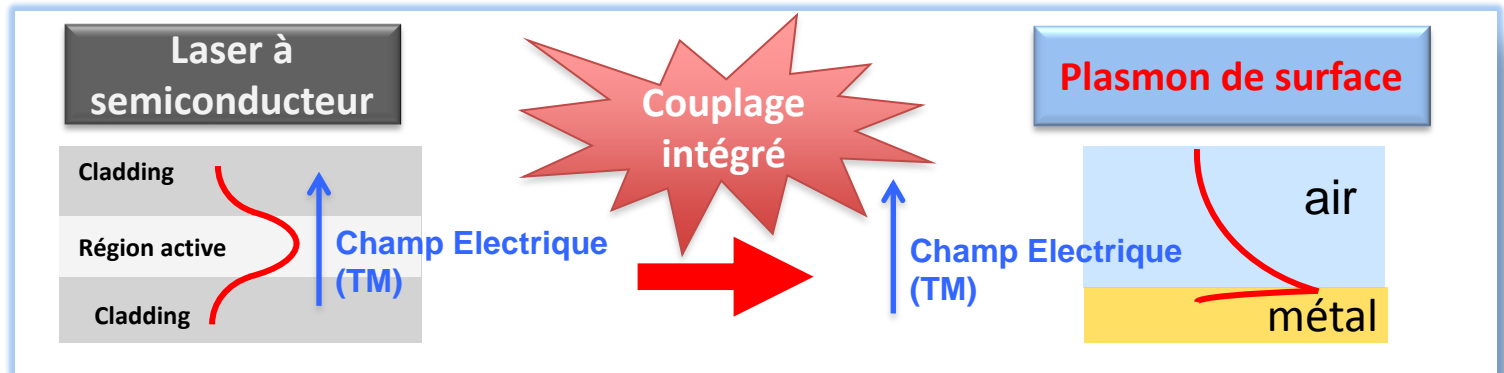


- ✓ **Couplage entre le mode diélectrique et un mode plasmonique => Nouveaux modes hybrides à fort caractère plasmonique.**

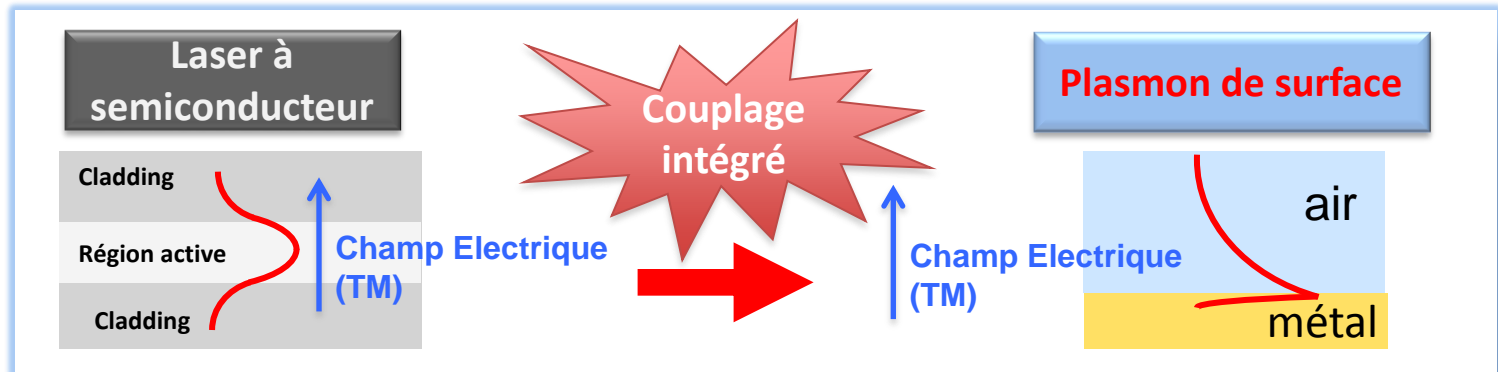
Principaux objectifs du projet Gospel

1. Développer des milieux à gain aux courtes longueurs d'onde (telecom) polarisé TM.
2. Développer des outils appropriés pour la microscopie en champ proche dans le proche infrarouge.
3. **Générer et/ou amplifier les plasmons de surface avec un dispositif semi-conducteur compact.**
4. Construire des composants de base pour la plasmonique (Cavités Patch, lanceur de plasmons...)

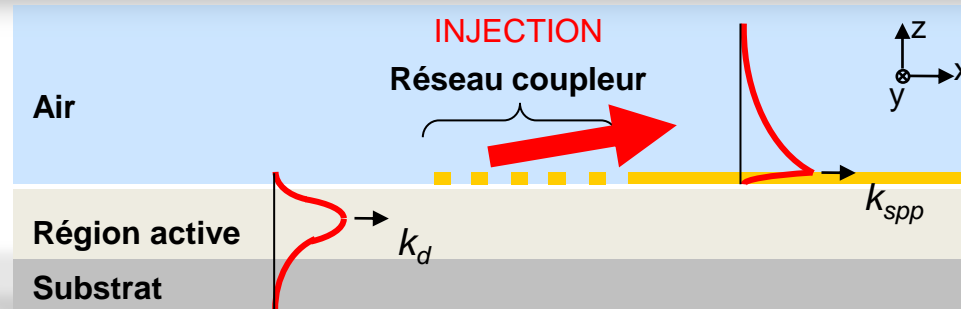
1- Générer les plasmons de surface: les deux concepts développés dans Gospel



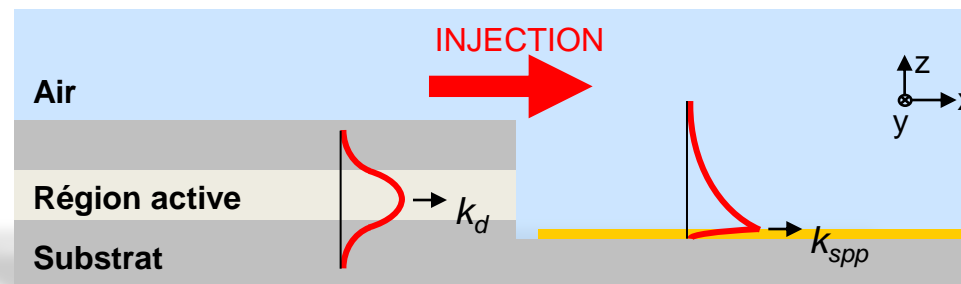
1- Générer les plasmons de surface: Les deux concepts développés dans Gospel



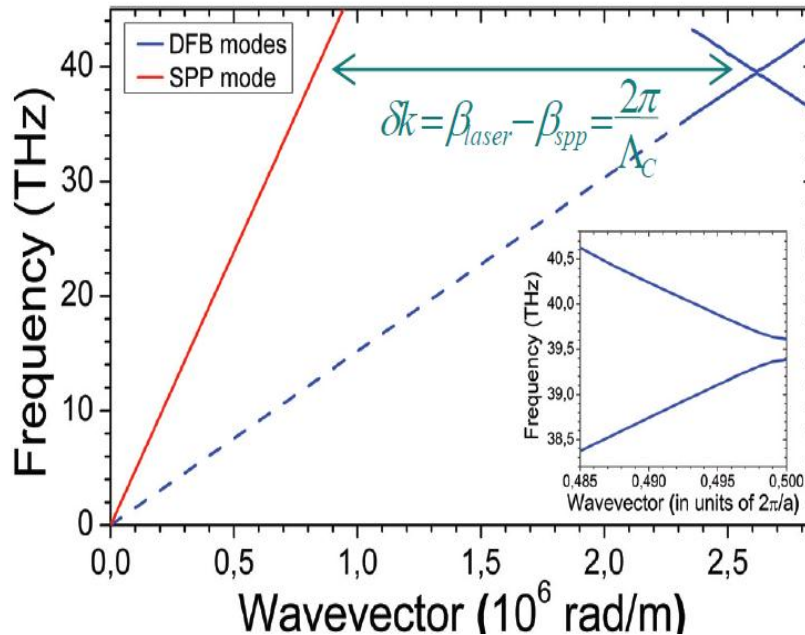
(i) Couplage par réseau de diffraction



(ii) Couplage direct (par la facette)

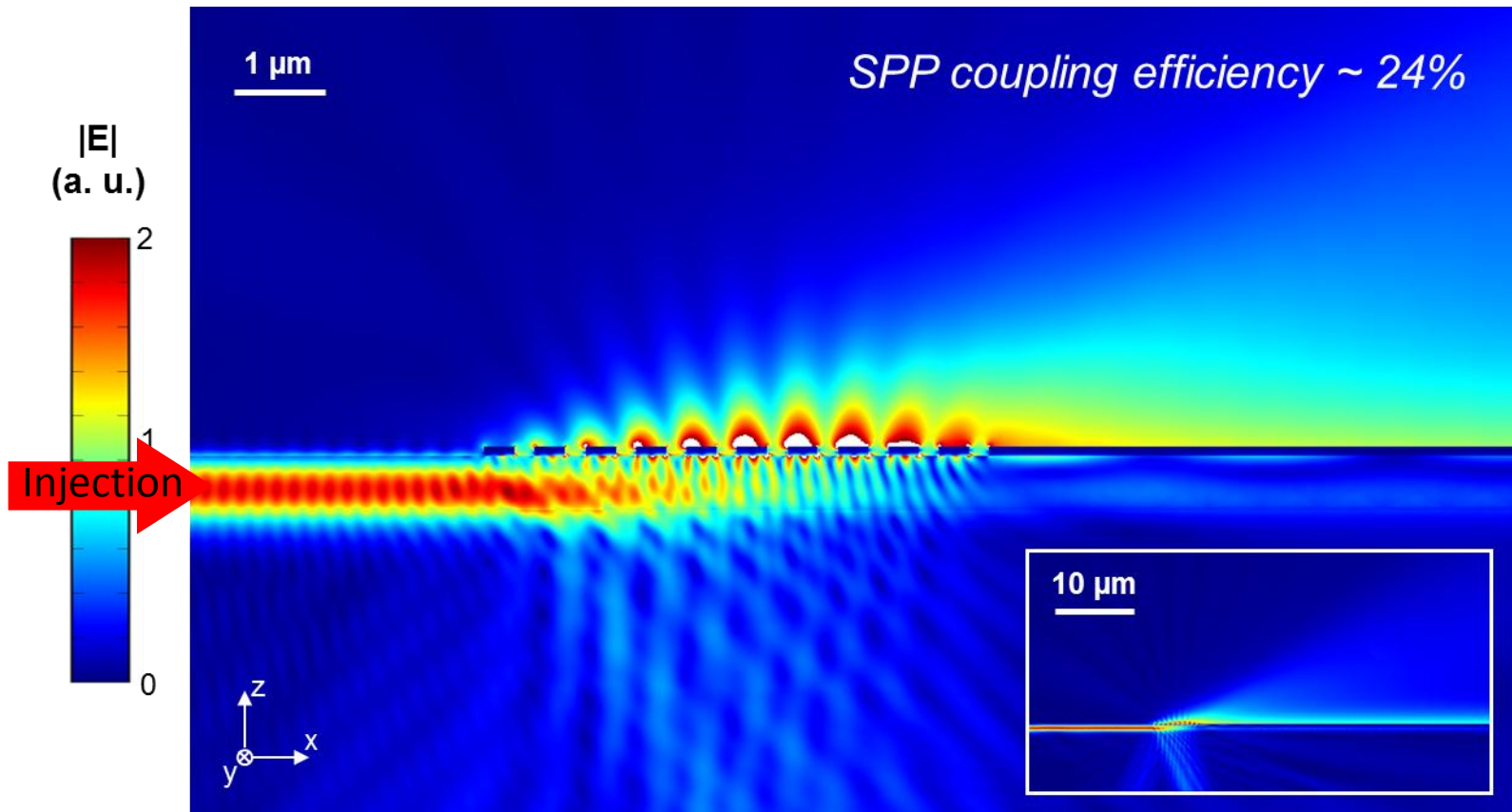


(i) Couplage par réseau de métallique de diffraction: Principe



- Le réseau de diffraction permet de faire une adaptation des vecteurs d'onde du plasmon de surface (Interface air/métal) et du mode du laser.

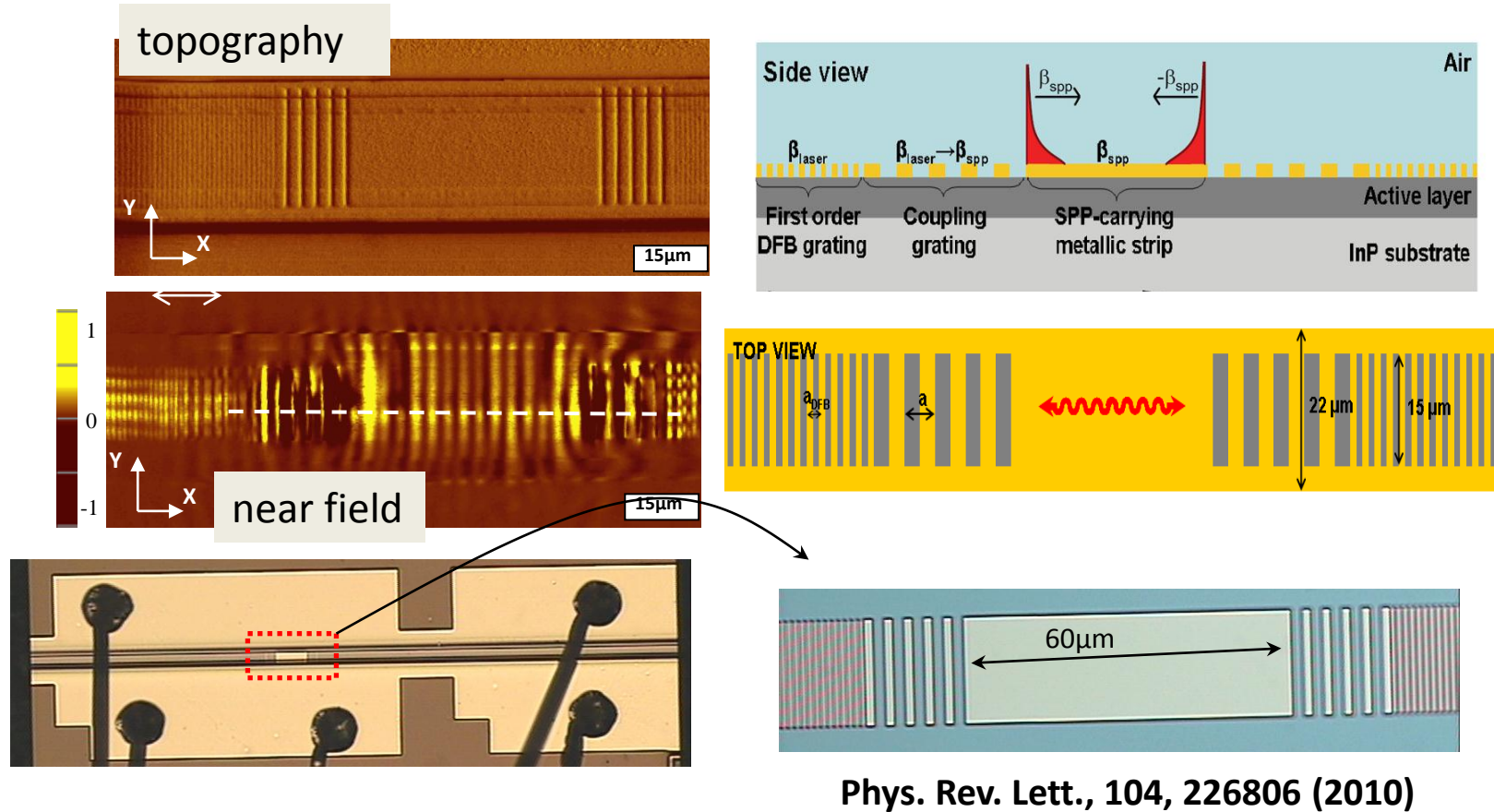
(i) Couplage par réseau de métallique de diffraction: Modélisation



Opt. Express 19, 18155-18163 (2011)

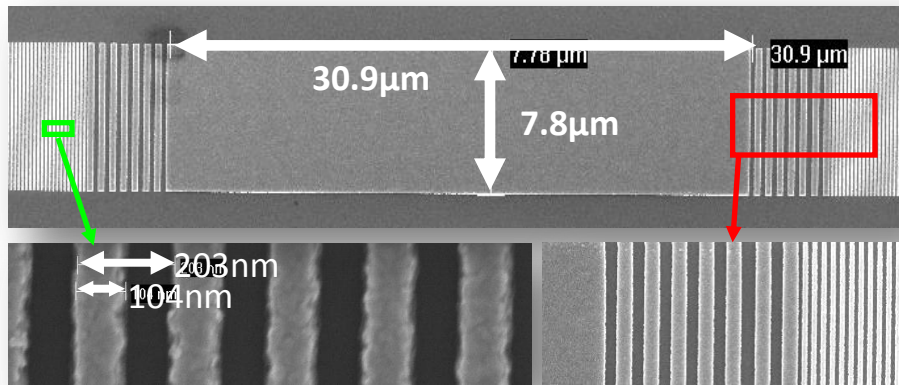
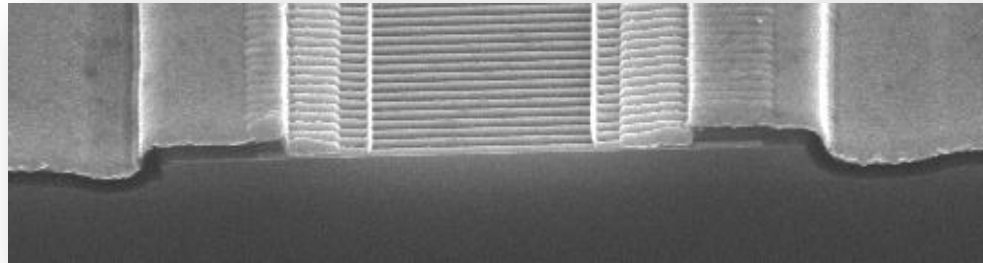
(i) Couplage par réseau de métallique de diffraction: Principe

- Première démonstration faite dans le moyen infrarouge

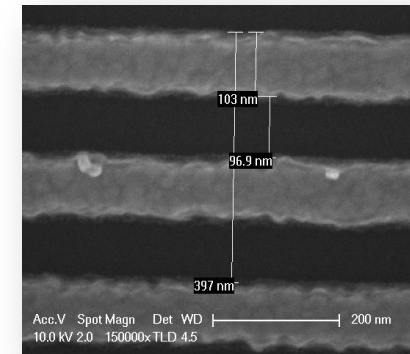


(i) Couplage par réseau: Aussi dans le proche infrarouge ($1,3 \mu\text{m}$)

Cavité laser: DFB (cavité à rétroaction distribuée).



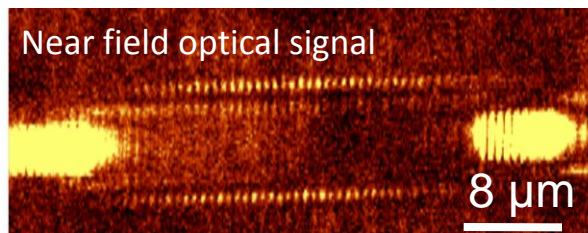
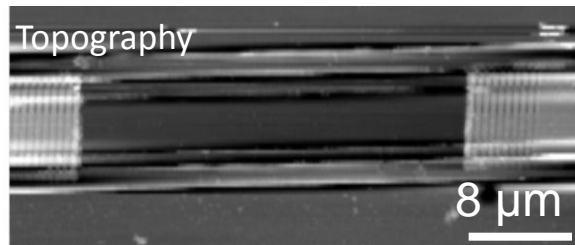
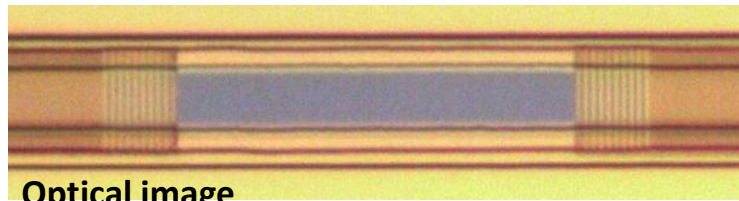
Le réseaux métalliques sont définis par lithographie électronique.



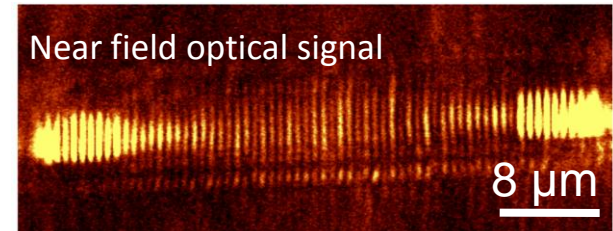
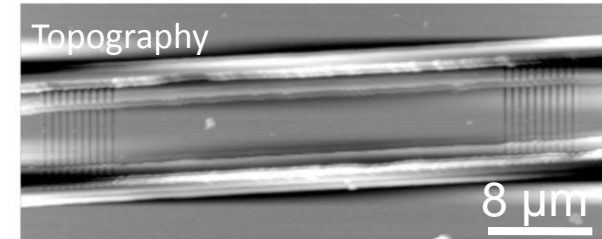
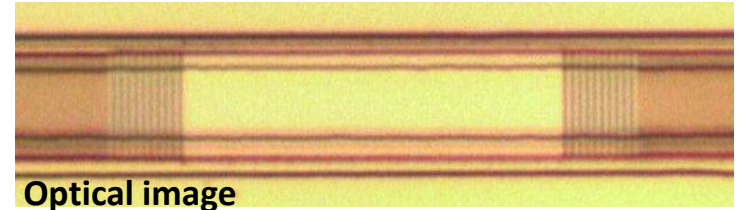
Elaboration des dispositifs => Développement technologique pointu!

(i) Couplage par réseau: Analyse champ proche

Guide sans guide plasmonique

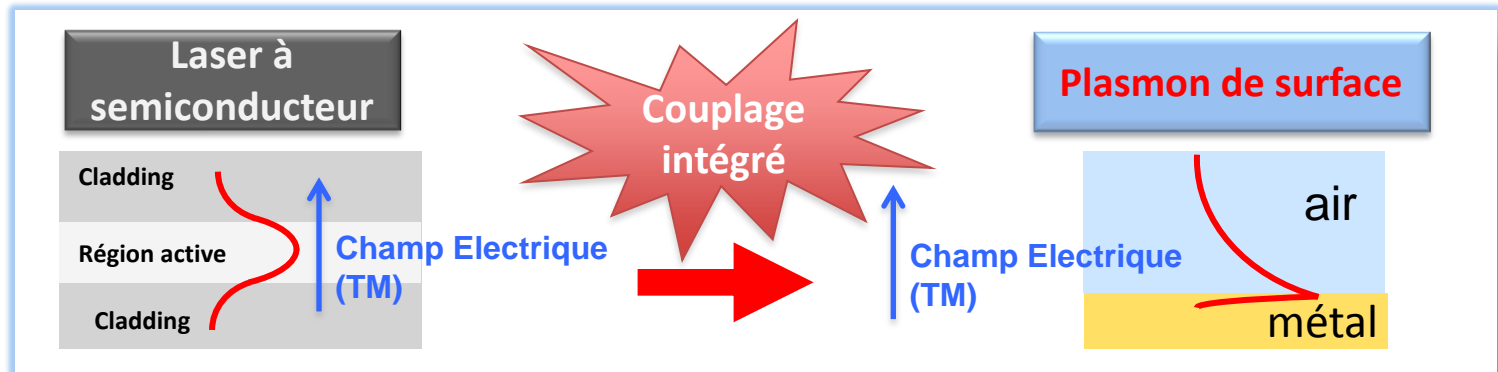


Guide sans guide plasmonique

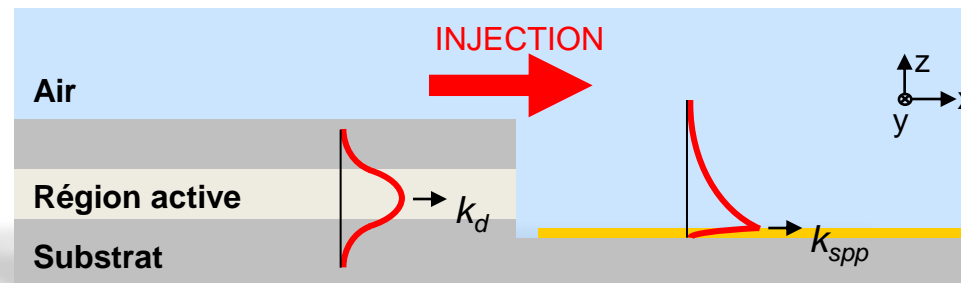


✓ Génération de plasmons de surface dans le proche et le moyen infrarouge

1- Générer les plasmons de surface: Les deux concepts développés dans Gospel



(ii) Couplage direct (par la facette)



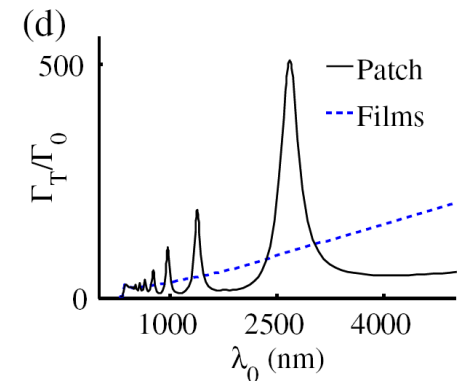
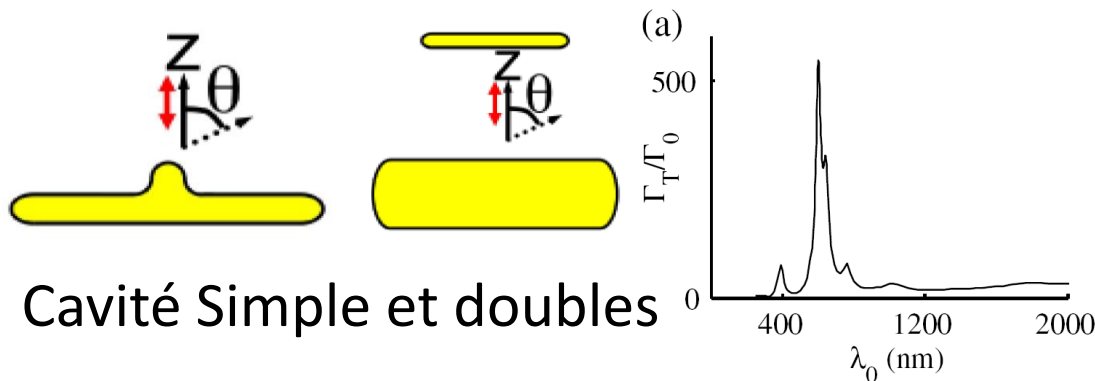
Objectifs du projet Gospel

1. Développer des milieux à gain aux courtes longueurs d'onde (telecom) polarisé TM.
2. Développer des outils appropriés pour la microscopie en champ proche dans le proche infrarouge.
3. Générer et/ou amplifier les plasmons de surface avec un dispositif semi-conducteur compact.
4. **Construire des composants de base pour la plasmonique (Cavités Patch, lanceur de plasmons...)**

4- Composants pour la plasmonique : cavité patch

Principe :

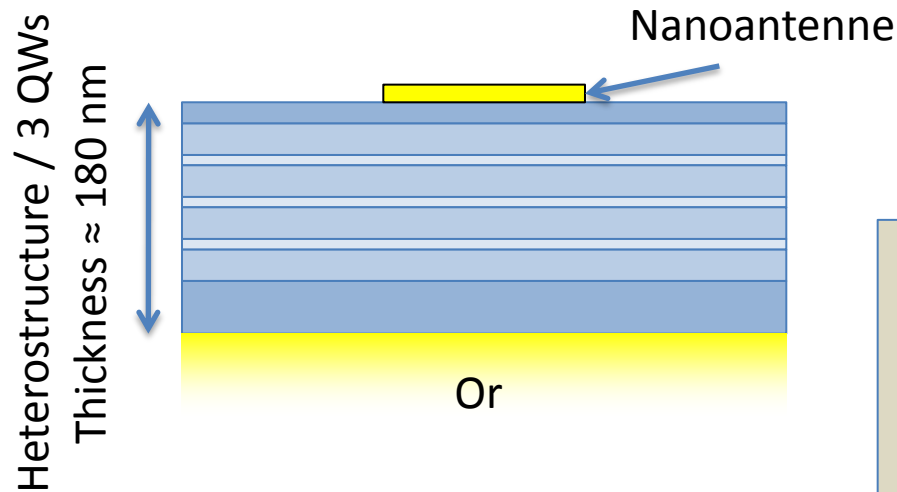
- La génération de plasmon de surface est réalisée grâce à des nano-résonateurs plasmoniques (antenne patch).
- Exploitation des résonances plasmoniques (plasmons localisés): exaltation de l'émission spontanée grâce à l'effet Purcell.



Effet Purcell prédit dans ces cavités

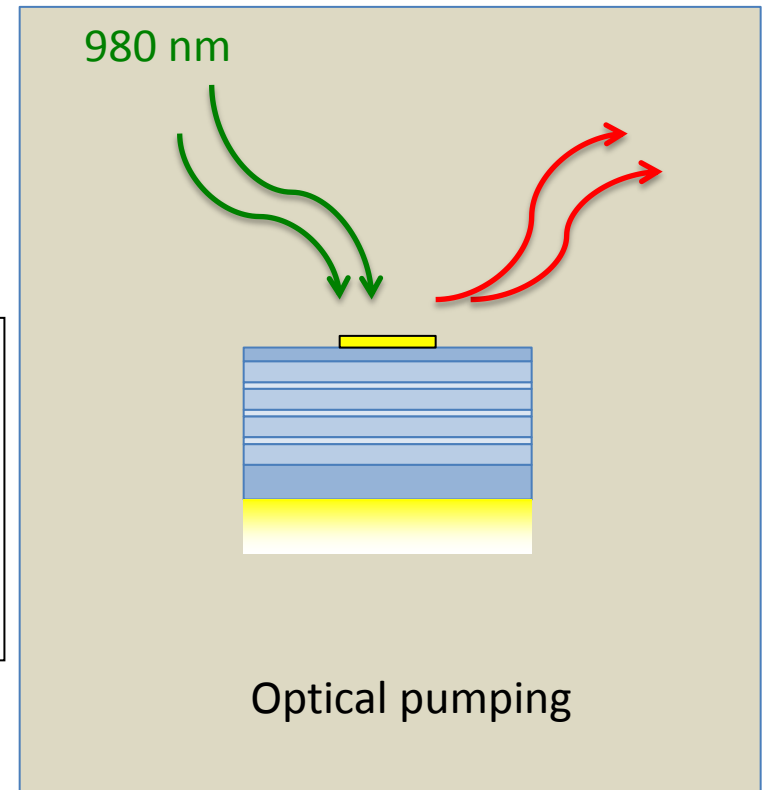
Phys. Rev. Lett. 104, 026802 (2010)

Cavités patches: Premières réalisations



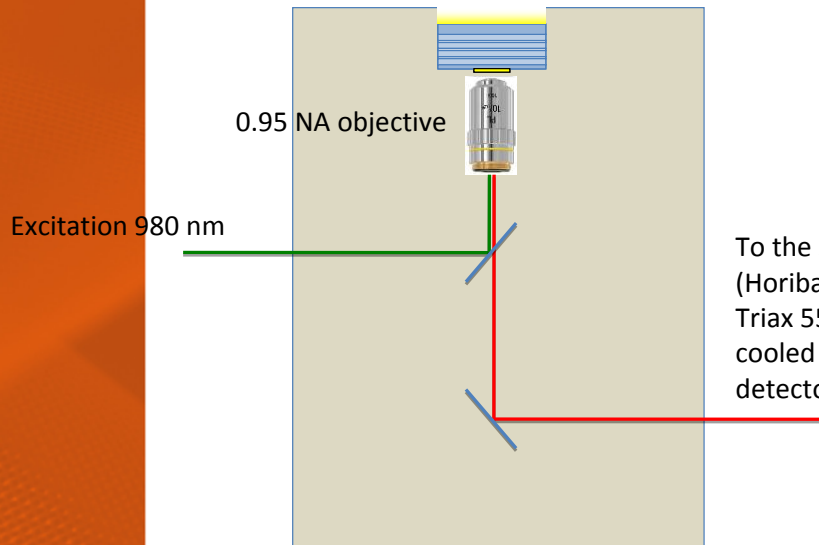
- ⇒ **Excitation des plasmons de surface entre les deux couches métalliques.**
- ⇒ **Couplage entre les plasmons de surface localisés et les modes propagatifs grâce à la nanoantenne.**

Mesures préliminaires sous pompage optique

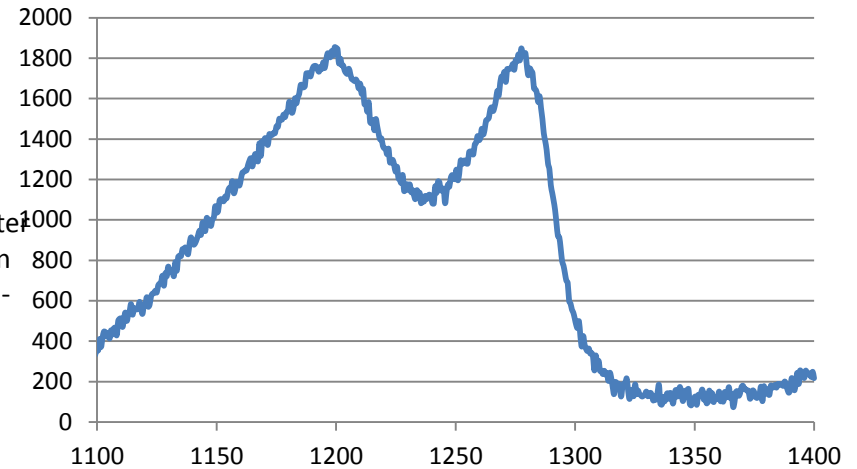


Cavités patches: Premières mesures

Inverted microscope

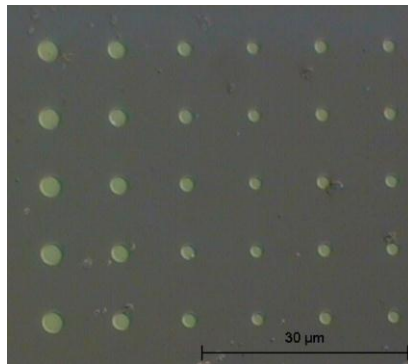


Correct photo-luminescence



Mesure par la tranche pour voir l'effet de quenching!

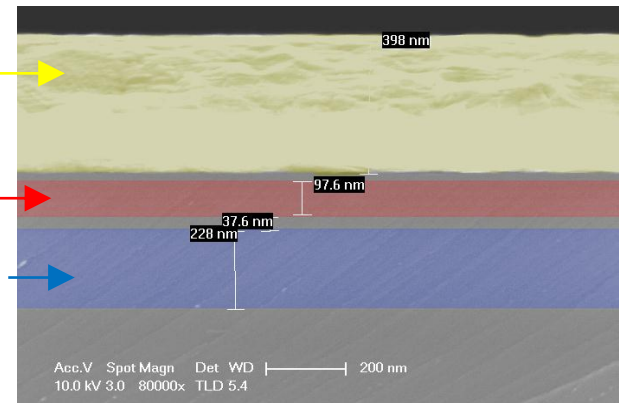
Premières structures métal/métal



Gold

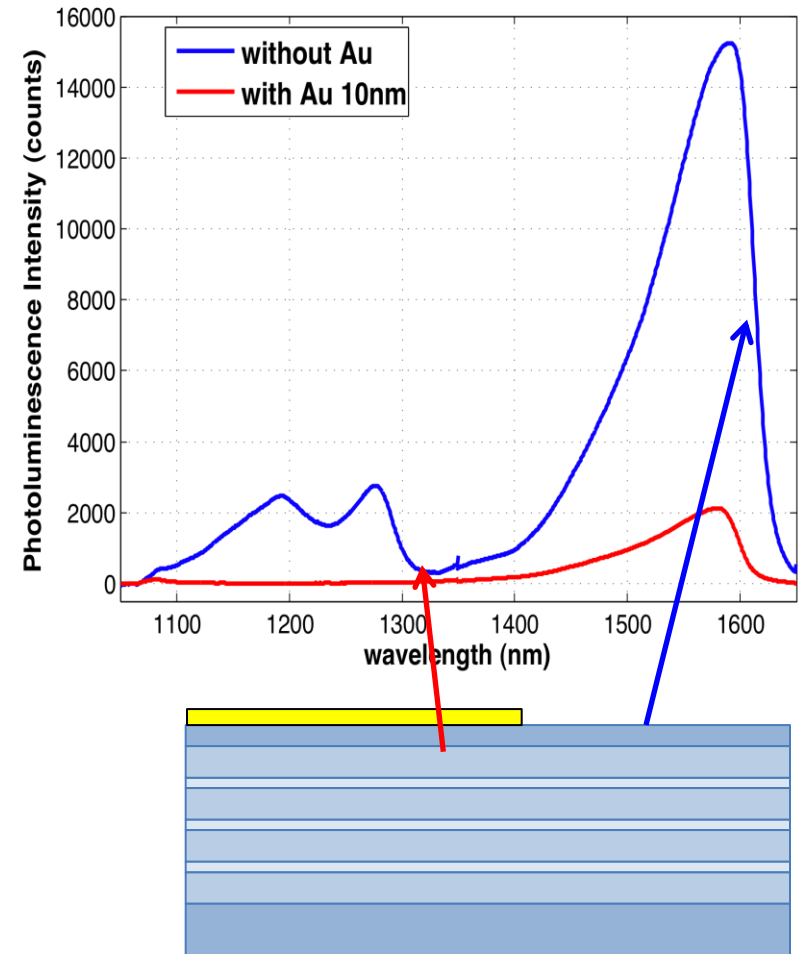
3 QWs

InGaAs



Effet du « Quenching » mis en évidence

- L'effet de « quenching » dans les structures fines a été mis en évidence.
- **Etudes en cours : utilisation de couches tampons pour favoriser les recombinaisons radiatives des porteurs.**



Conclusion et perspective pour les prochains mois

- Quenching dans les structures fines:
 - Tests en cours sur des cavités patchs pompées optiquement.
 - Utilisation de couches tampons.
- Modes plasmoniques hybrides:
 - Faire laser, sous pompage électrique, des modes complètement plasmoniques (spaser)

Publications

- 1) J-P. Tetienne, A. Bousseksou, D. Costantini, R. Colombelli, A. Babuty, I. Moldovan-Doyen, Y. De Wilde, C. Sirtori, G. Beaudoin, L. Largeau, R. Braive, I. Sagnes, Appl. Phys. Lett. **97**, 211110 (2010).
- 2) A. Babuty, A. Bousseksou, J-P. Tetienne, I. Doyen, C. Sirtori, G. Beaudoin, I. Sagnes, Y. De Wilde, R. Colombelli, Phys. Rev. Lett. **104**, 226806 (2010) .
- 3) Y. Todorov, L. Tosetto, J. Teissier, A. M. Andrews, P. Klang, R. Colombelli, I. Sagnes, G. Strasser, and C. Sirtori, Opt. Express **18**, 13886 (2010).
- 4) P. Jouy, Y. Todorov, A. Vasanelli, R. Colombelli, I. Sagnes, and C. Sirtori, Appl. Phys. Lett. **98**, 021105 (2011).
- 5) R. Esteban et al., "Optical Patch Antennas for Single Photon Emission Using Surface Plasmon Resonances ", Phys. Rev. Lett. **104**, 026802 (2010).
- 6) J-P. Tetienne, A. Bousseksou, D. Costantini, R. Colombelli, Y. Dewilde, Opt. Express **19**, 18155-18163 (2011).
- 7) A. Bousseksou, A. Babuty, J-P. Tetienne, I. Moldovan-Doyen, R. Braive, G. Beaudoin, I. Sagnes, Y. De Wilde, R. Colombelli, Optics Express **20**, 13738 (2012)
- 8) D. Costantini, A. Bousseksou, M. Fevrier, B. Dagens, R. Colombelli, IEEE J. Quantum Electronics **48**, 73 (2012).
- 9) *D. Costantini, L. Greusard, A. Bousseksou, R. Rungsawang, T. Zhang, S. Callard, A. Accard, J. Decobert, G-H. Duan, Y. De Wilde, R. Colombelli, Nano Lett. **12**, 4693 (2012).*
- 10) *"A hybrid plasmonic semiconductor laser", soumis .*
- 11) *"Near-field analysis of metallic DFB lasers at telecom wavelengths", en cours de soumission.*
- 12) *"Controlling spontaneous emission with plasmonic optical patch antennas", soumis.*

Consortium



D. Costantini, A. Bousseksou, R. Colombelli,



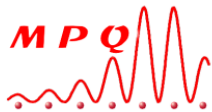
L. Greusard, A. Babuty, Y. De Wilde



J. Decobert, A. Accard, F. Lelarge, G. Duan



B. Habert, F. Marquier, J-J. Greffet



P. Jouy, Y. Todorov, C. Sirtori

Merci de votre attention!