

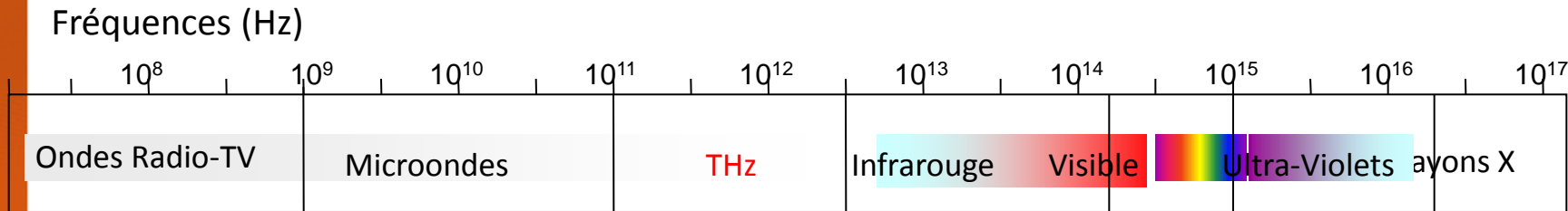
BASTET

Bi-mode All-Semiconductor laser-photomixer Terahertz EmiTter

Institut des Nanotechnologies de Lyon (X. Letartre)
Institut d'Electronique Fondamentale (J. Mangeney)
Institut d'Electronique du Sud (L. Chusseau)
CEA – LETI (E. Augendre)

Journées Nationales Nanosciences et
Nanotechnologies 2012

Sources TeraHertz



Sources électroniques

- Transistor
- Diode à effet de champ ...

Sources optiques

- Laser à gaz
- Laser à cascade quantique



Sécurité



Industrie

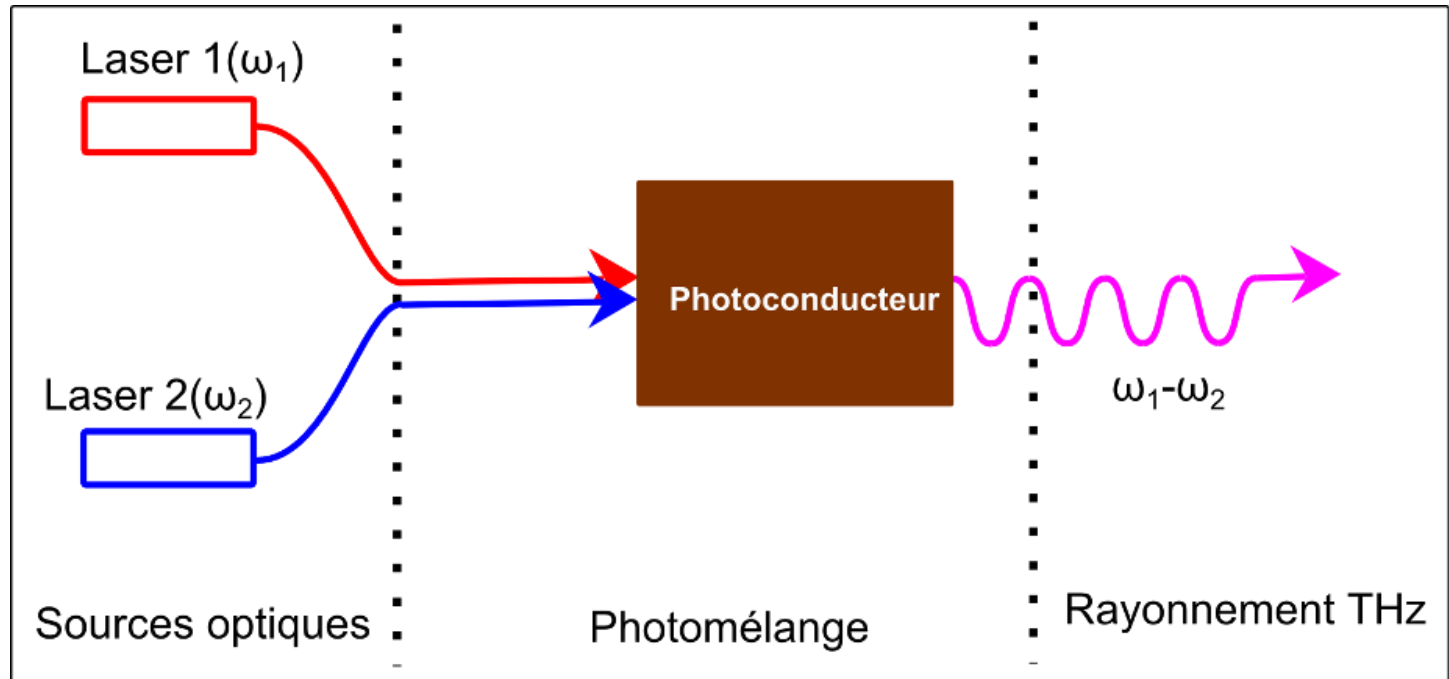


Médical

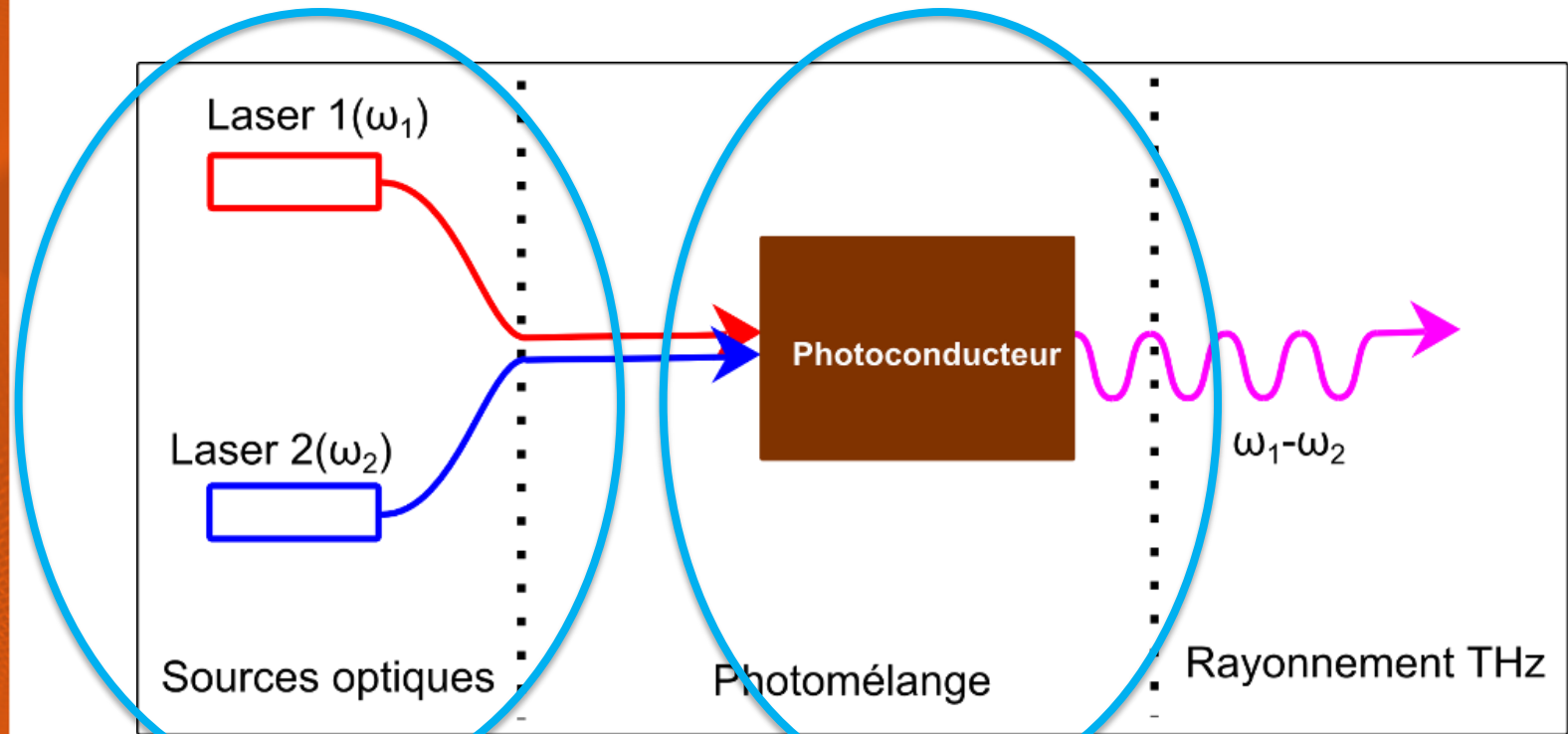
Télécommunication



Emission TeraHertz par Photomélange



Emission TeraHertz par Photomélange : objectifs de BASTET



1 source monolithique bimode

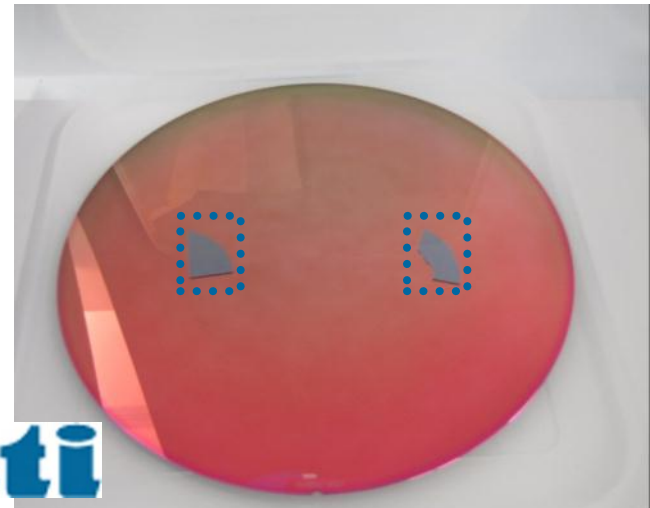
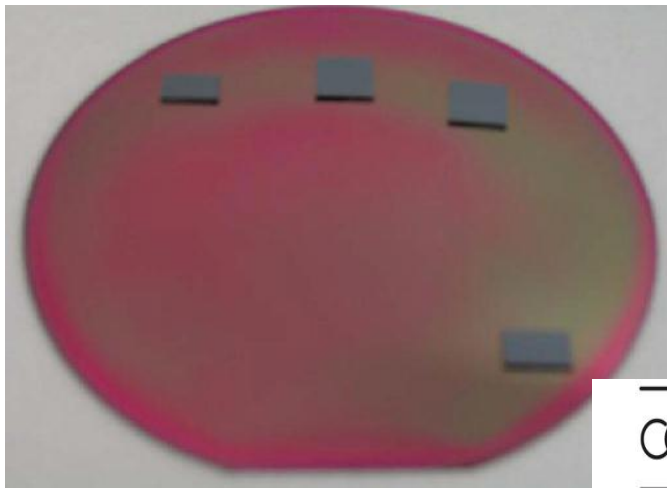
**Accroître l'efficacité
de conversion**

Objectifs de BASTET

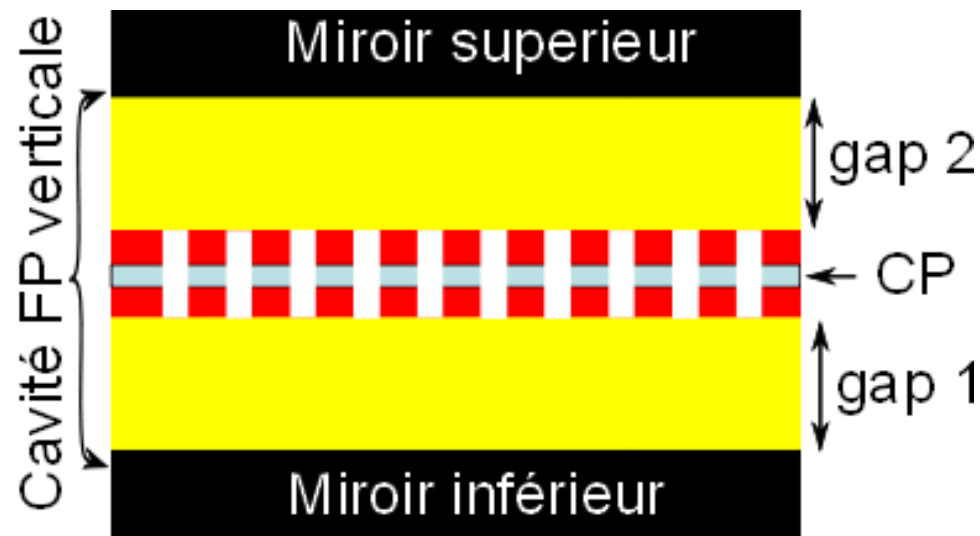
- Laser monolithique bimode (@ 1.55 μ m)
 - Compacité
 - Emission bi-fréquence stable
 - Emission par la surface avec contrôle de la polarisation
 - Potentiellement accordable
- Photomélangeurs (@1.55 μ m)
 - Augmenter le rendement quantique
 - Réduire les problèmes thermiques
 - Améliorer l'émission du signal THz

Technologies employées

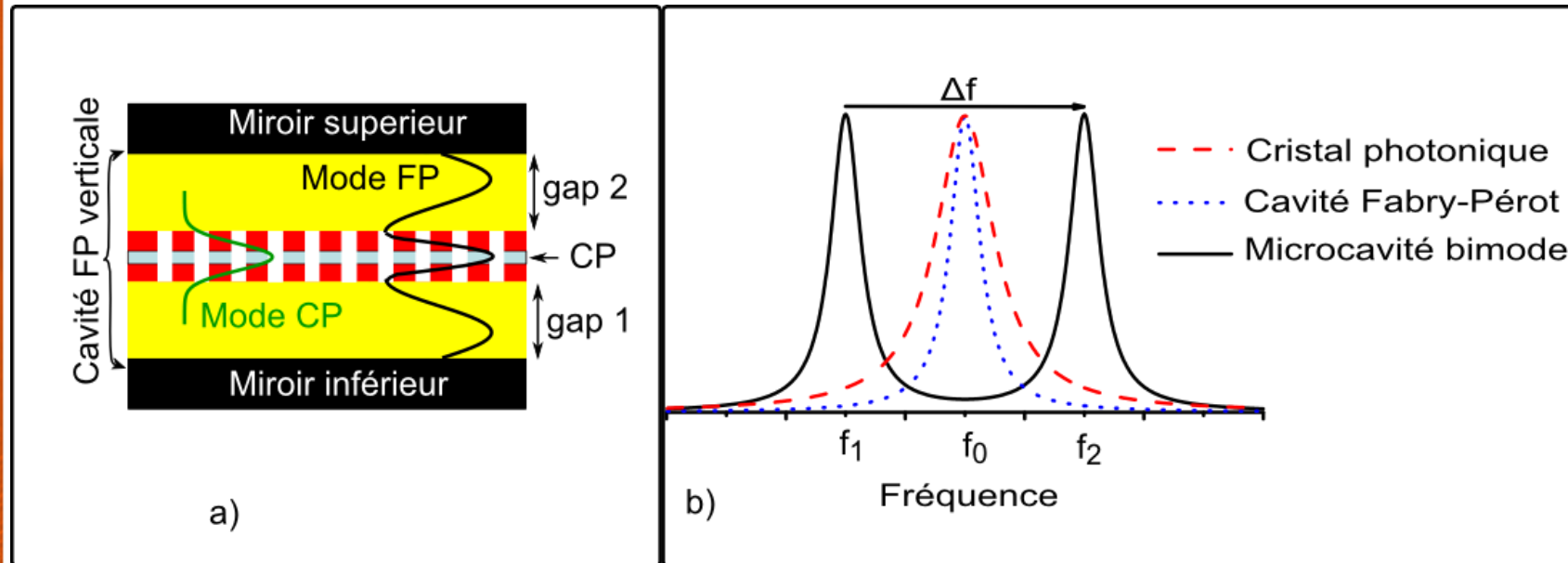
- Intégration hétérogène III-V / Silicium
 - Associer réponse optoélectronique du III-V et la maturité des technologies silicium
 - Possibilité d'une micro-structuration 3D
 - Exploiter la bonne dissipation thermique du substrat silicium
 - À terme, combiner sur une même puce des composants utilisant des III-V différents (vignettage)
- Technologie clef : collage moléculaire



Laser bi-fréquences utilisant un mode mixte Cristal Photonique / Fabry-Perot



Laser bi-fréquences : principe



Micro-résonateur associant:

- Une cavité Fabry Pérot verticale
- Un cristal photonique

membranaire

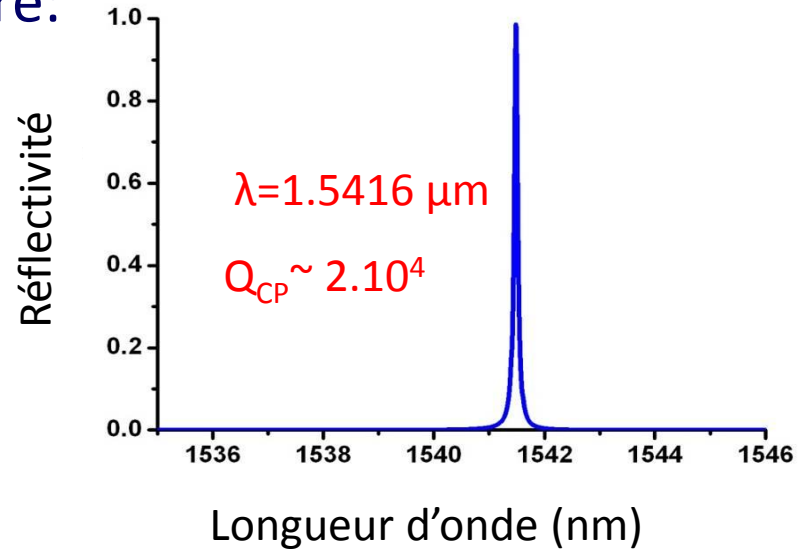
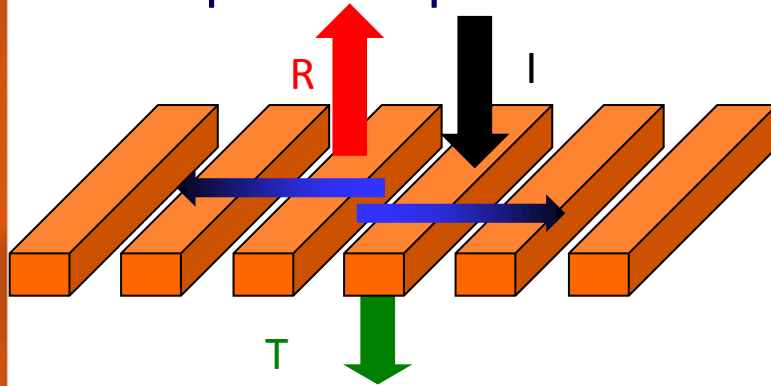


Conditions de couplage

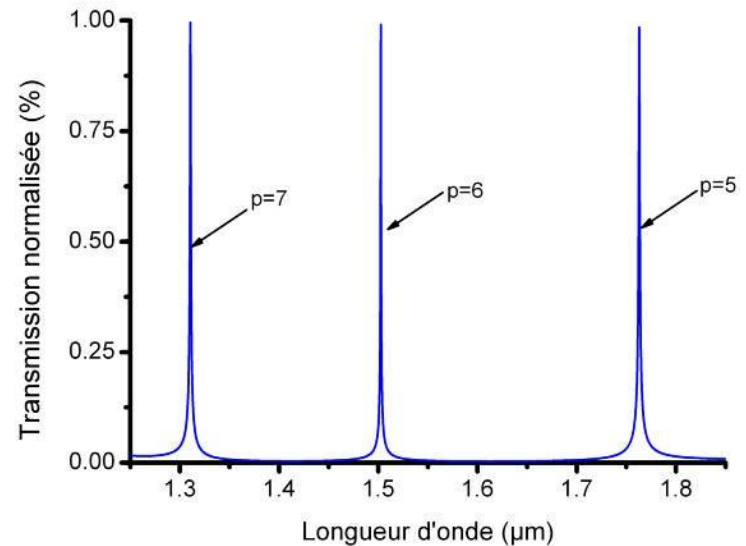
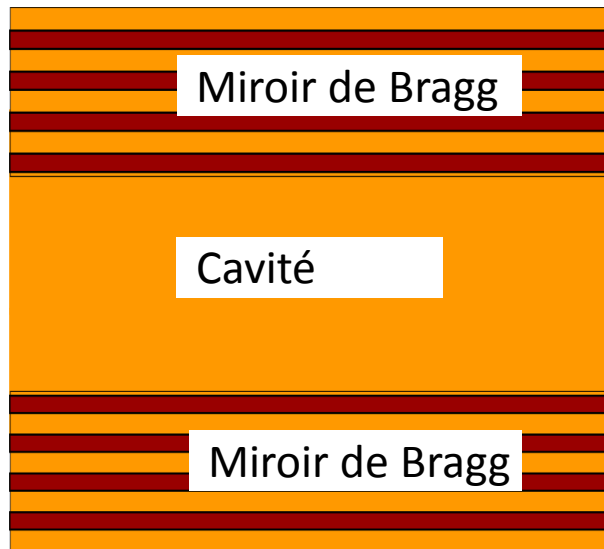
- Accord spectral
- Accord spatial

Laser bi-fréquences : principe

Cristal photonique membranaire:

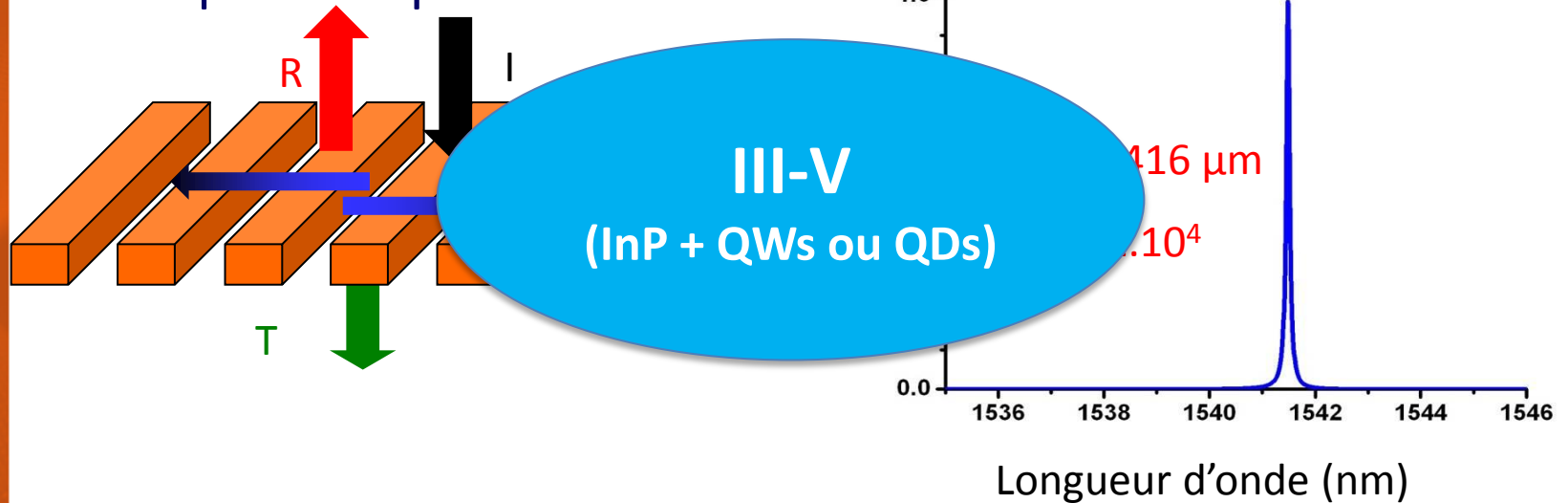


Cavité Fabry-Perot:

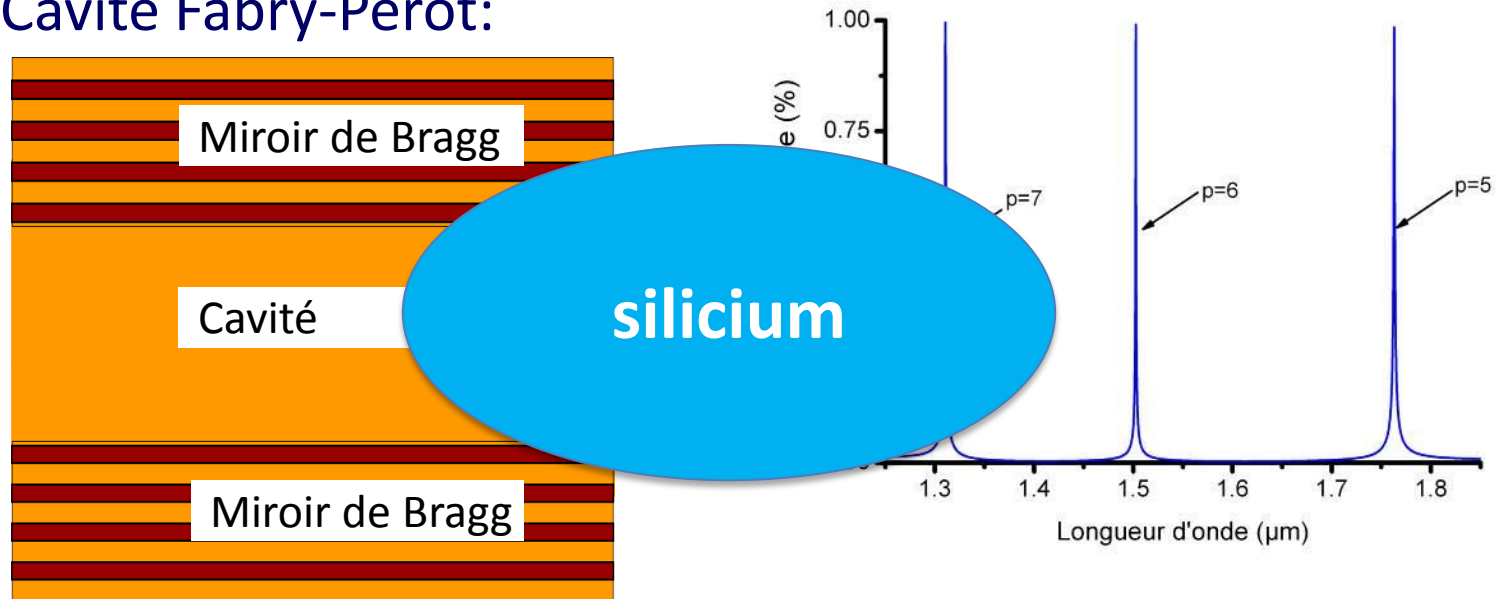


Laser bi-fréquences : principe

Cristal photonique membranaire:



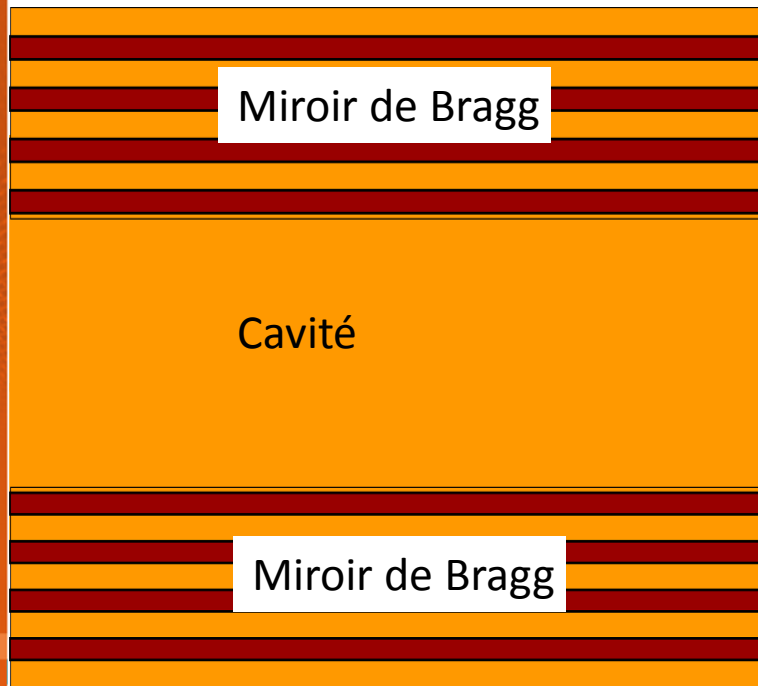
Cavité Fabry-Perot:



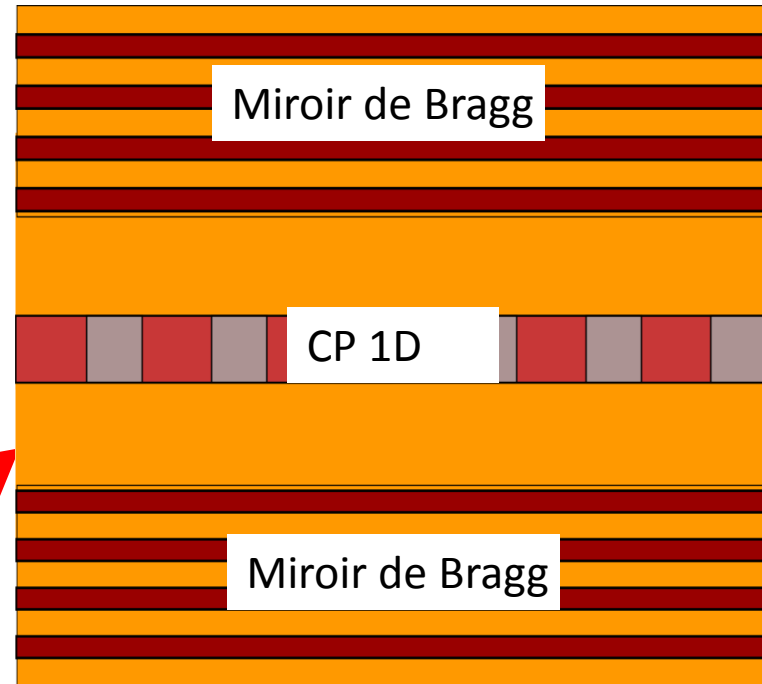
Laser bi-fréquences : principe



Cristal photonique membranaire



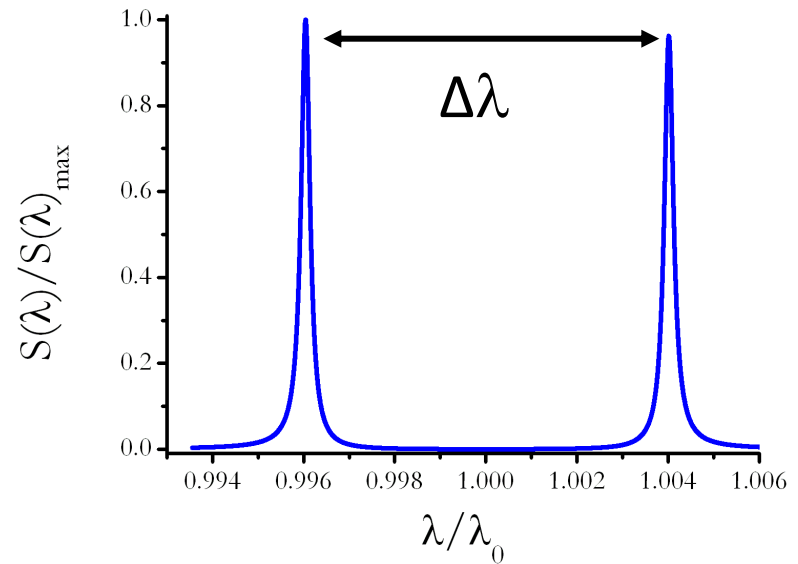
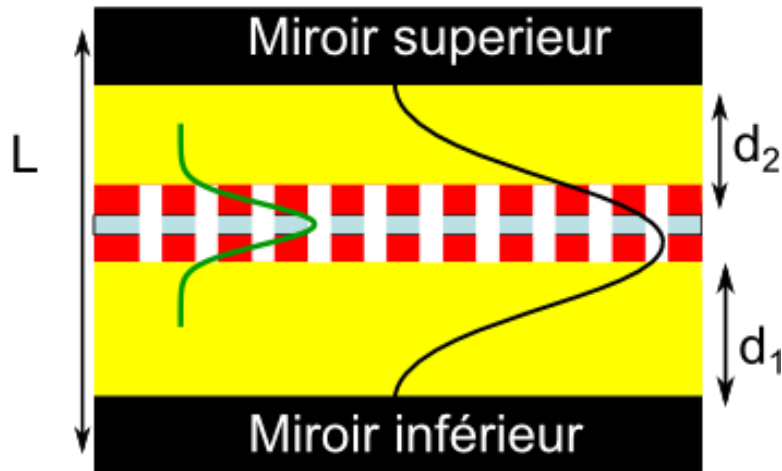
Cavité verticale Fabry Pérot



**Micro-résonateur
bi-fréquence**



Laser bi-fréquences : propriétés



Conditions de couplage :

- accord spectral
- recouvrement spatial des modes

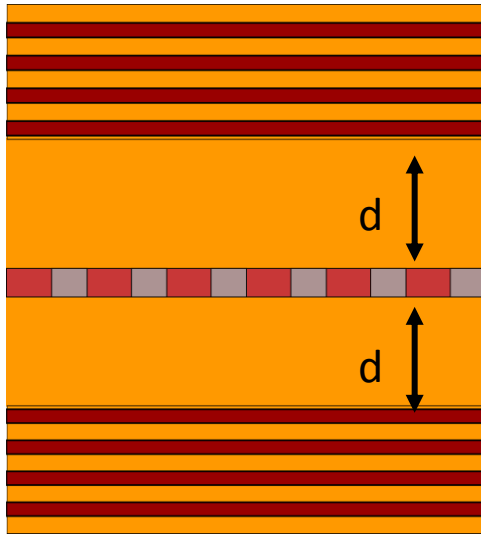
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1}{Q_{CP}}} \times \underbrace{\sqrt{\frac{2}{p\pi}} \cos\left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta d\right)}_{\text{Champ du mode Fabry Péro}}t$$

Taux de couplage du mode cristal photonique

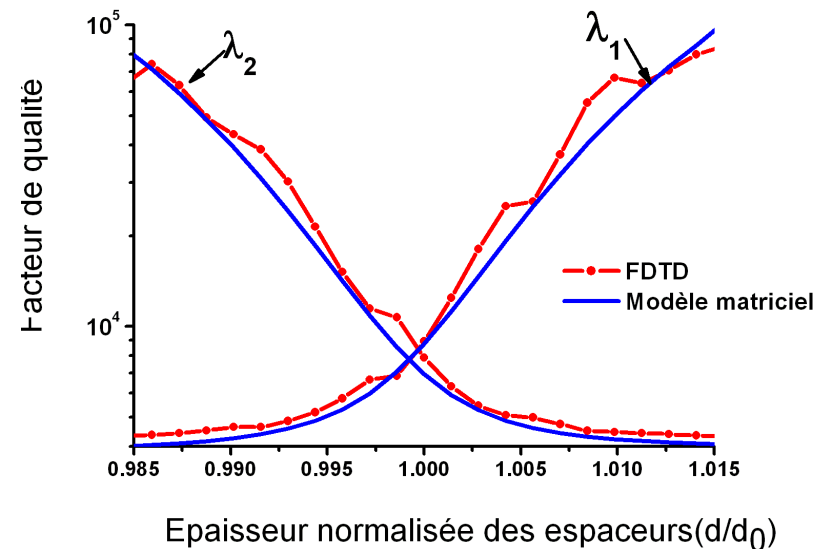
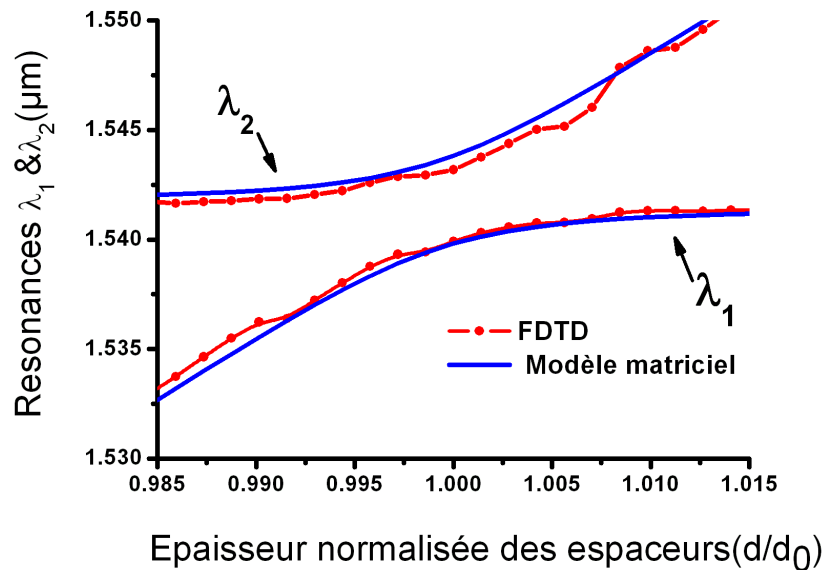
Champ du mode Fabry Péro à la position du cristal photonique

$$\Delta f \sim 1 \text{ THz} \quad (\Delta\lambda \sim 8 \text{ nm})$$

Laser bi-fréquences : propriétés

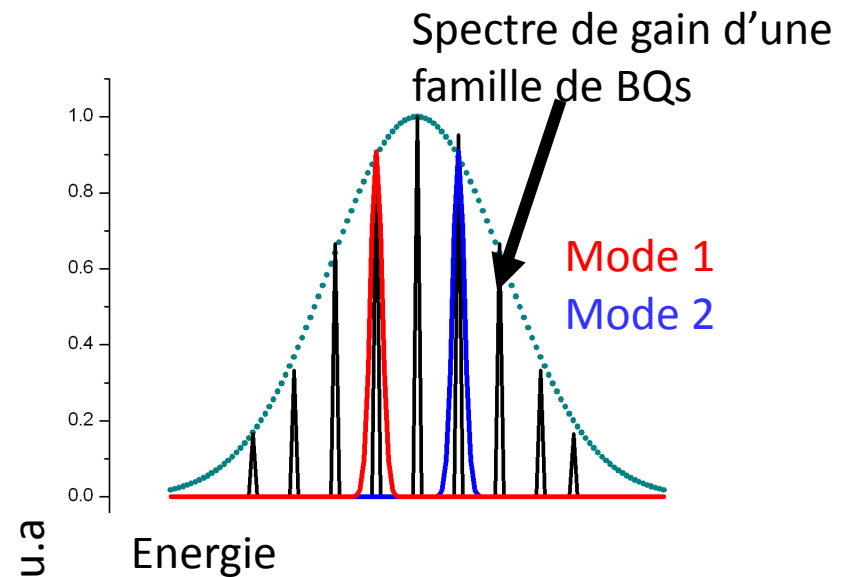
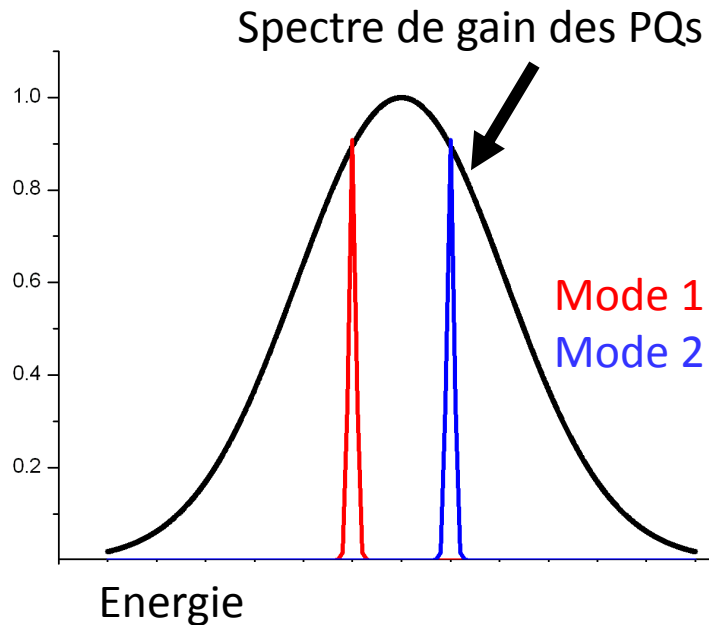


- Epaisseur anti-croisement: $d_0=0.711 \mu\text{m}$
- $\Delta f = 0.416 \text{ THz}$
- $Q \sim 8000$



Laser bi-fréquences : étude de la stabilité

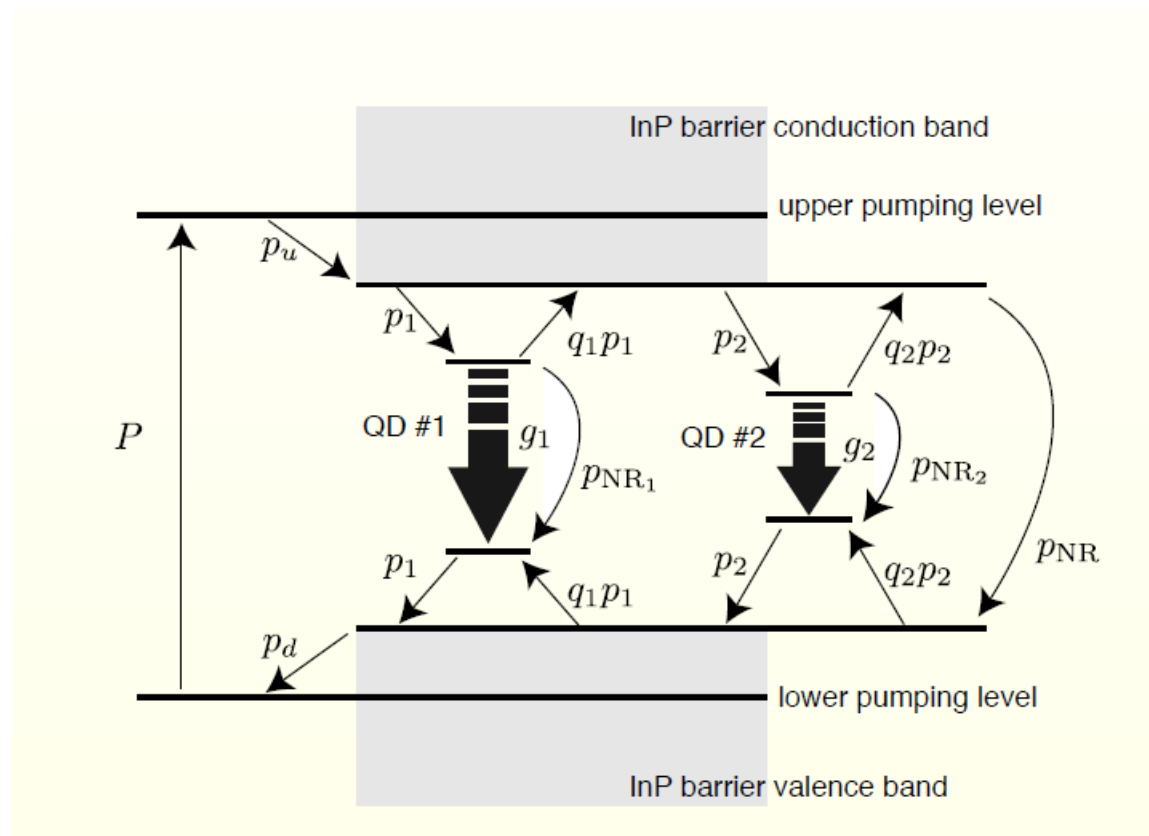
- Compétition entre les 2 modes:
risque d'instabilité de l'émission bi-fréquence
- Influence du milieu à gain : puits ou boîtes quantiques



Hypothèse: dans le cas des BQs, chaque mode se nourrit à ses propres BQs ce qui stabilise le comportement bi-mode

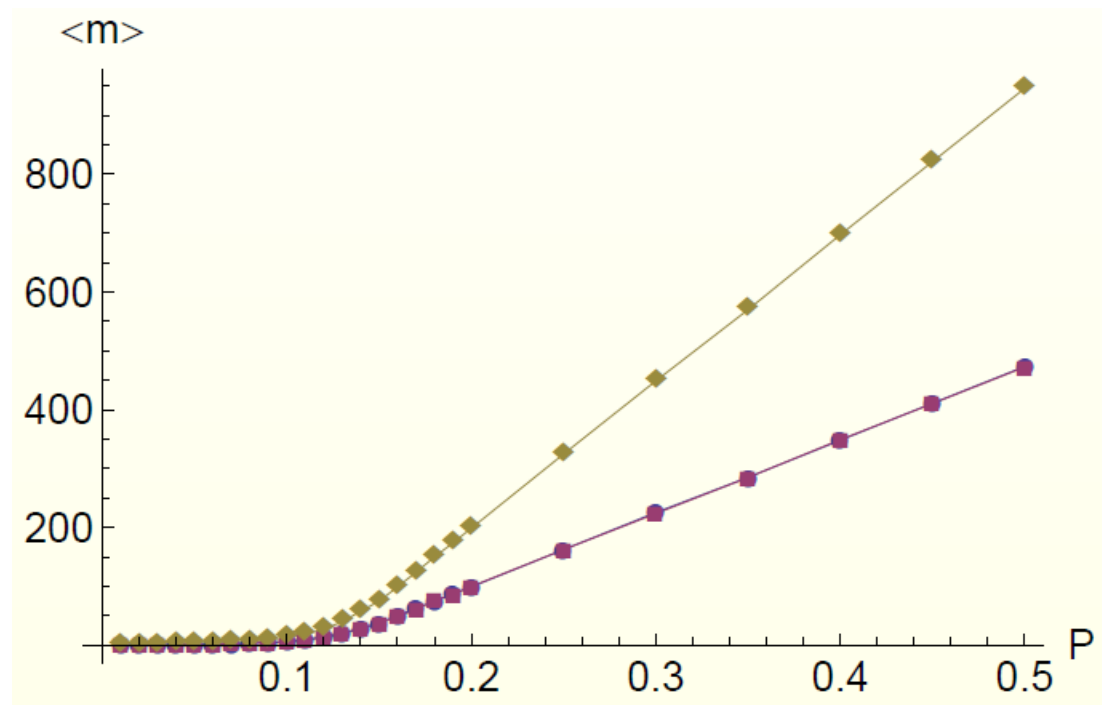
Laser bi-fréquences : étude de la stabilité

- modèle analytique : « rate equations »
- simulations numériques (Monte-Carlo)

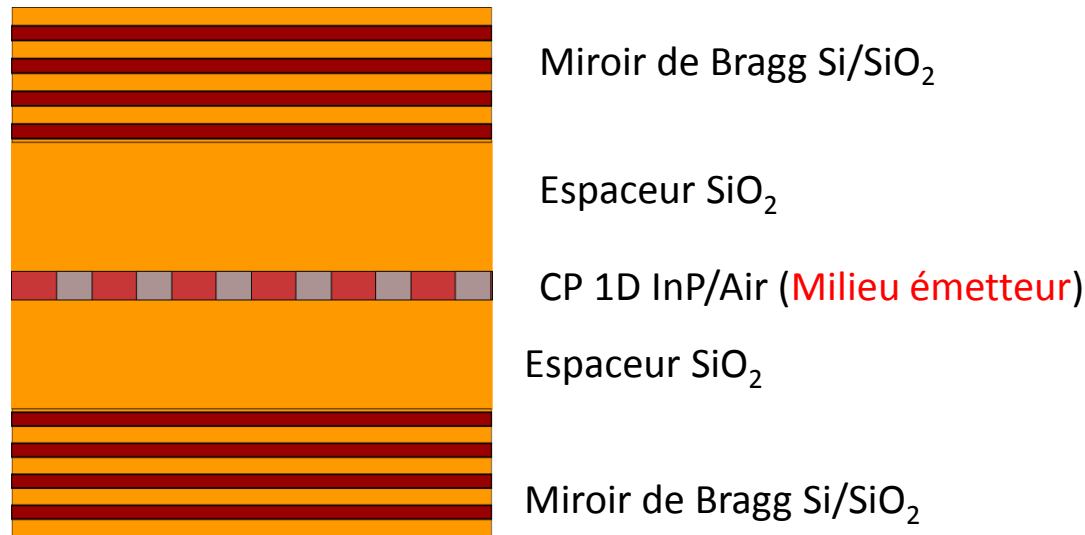


Laser bi-fréquences : étude de la stabilité

- Cas des PQs :
 - stabilité pour un domaine très restreint de paramètres
- Cas des BQs:
 - **stabilité quasiment inconditionnelle**



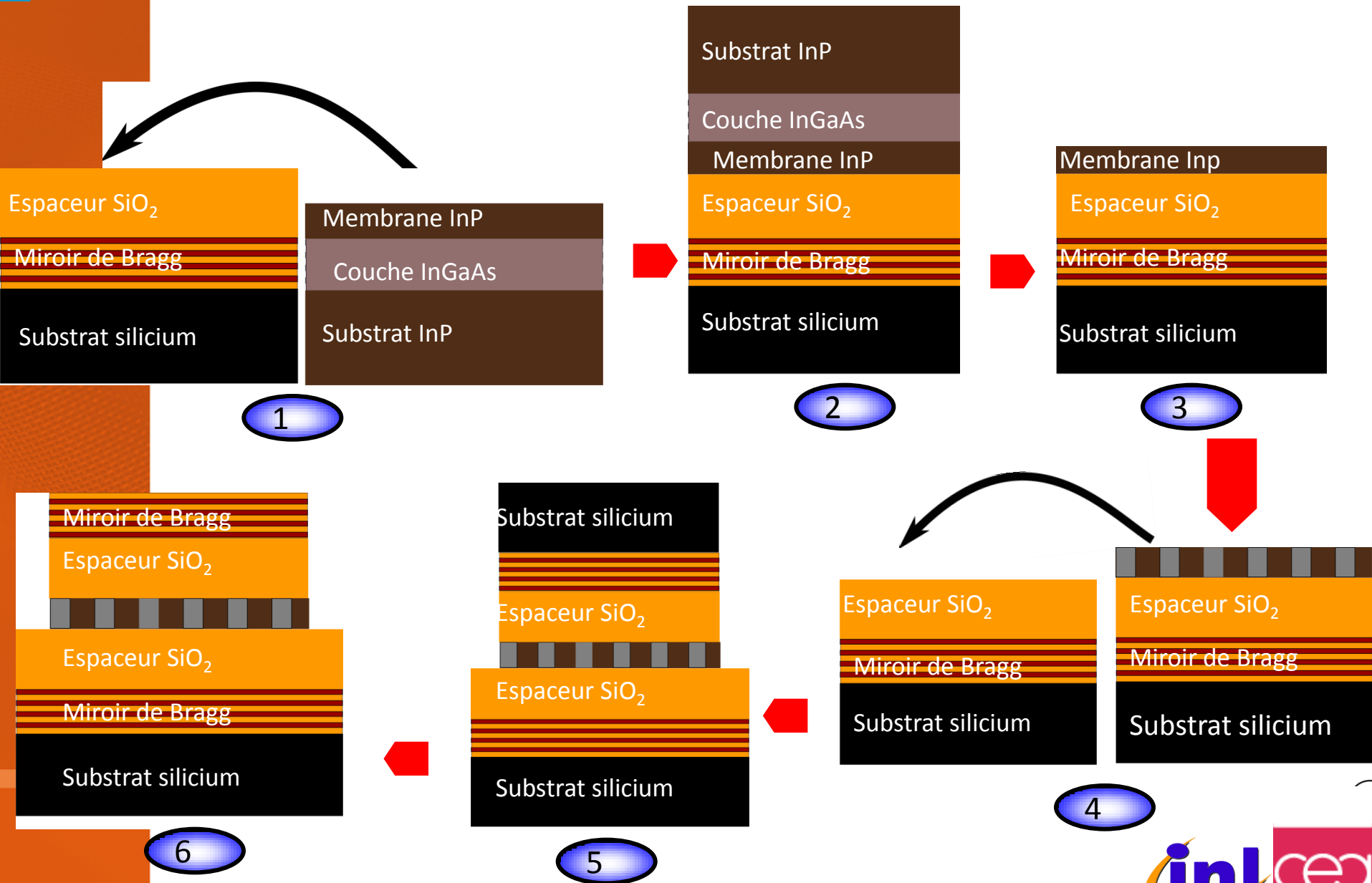
Laser bi-fréquences : technologie



• DEFIS TECHNOLOGIQUES:

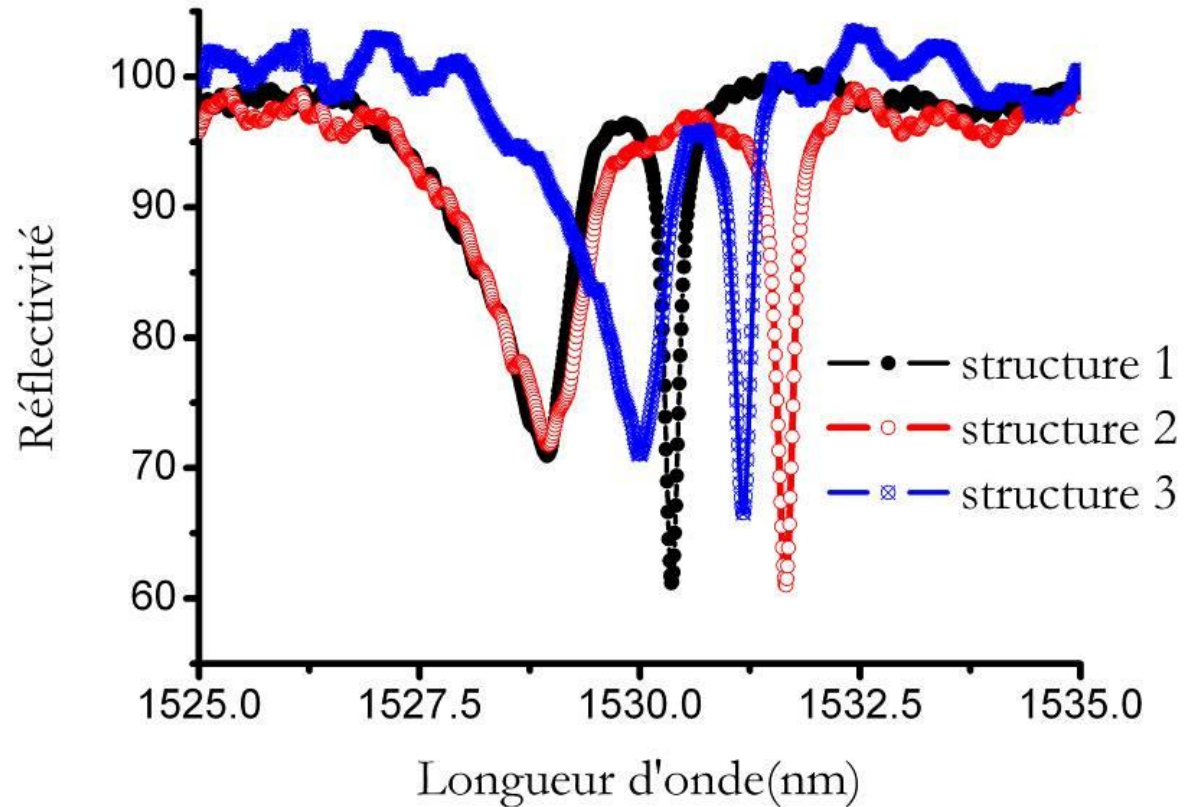
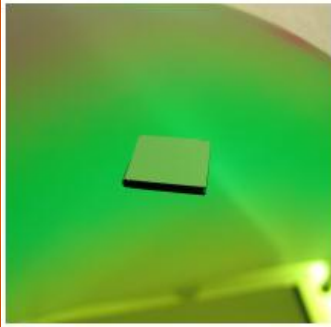
- Réalisation de miroirs de grande efficacité
- Intégration d'un cristal photonique membranaire dans une cavité verticale
- Intégration hétérogène III-V/Silicium
- Contrôle des paramètres géométriques (épaisseurs, cristal photonique)

Laser bi-fréquences : technologie



Laser bi-fréquences : résultats

Cavité passive (sans milieu à gain) : test en réflectivité



$$\Delta f \sim 0.15\text{THz} - 0.35\text{THz}$$

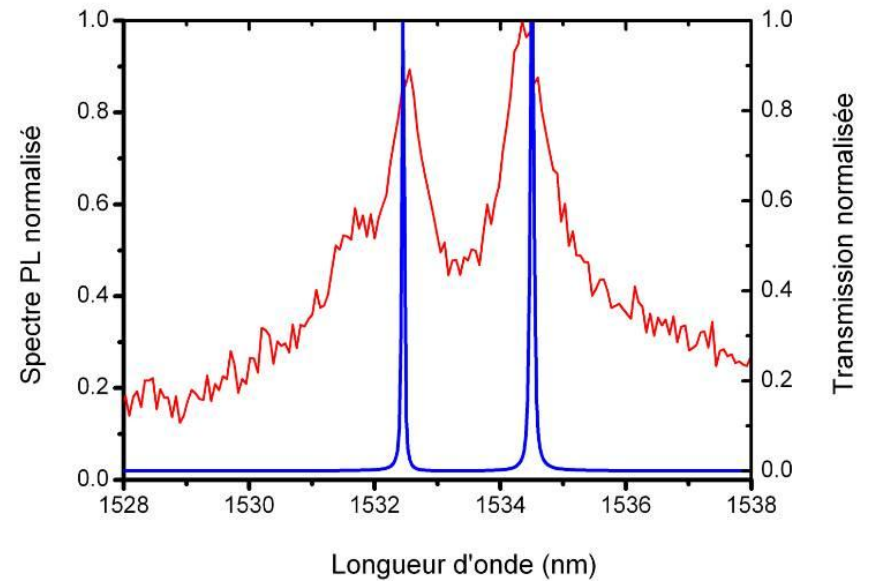
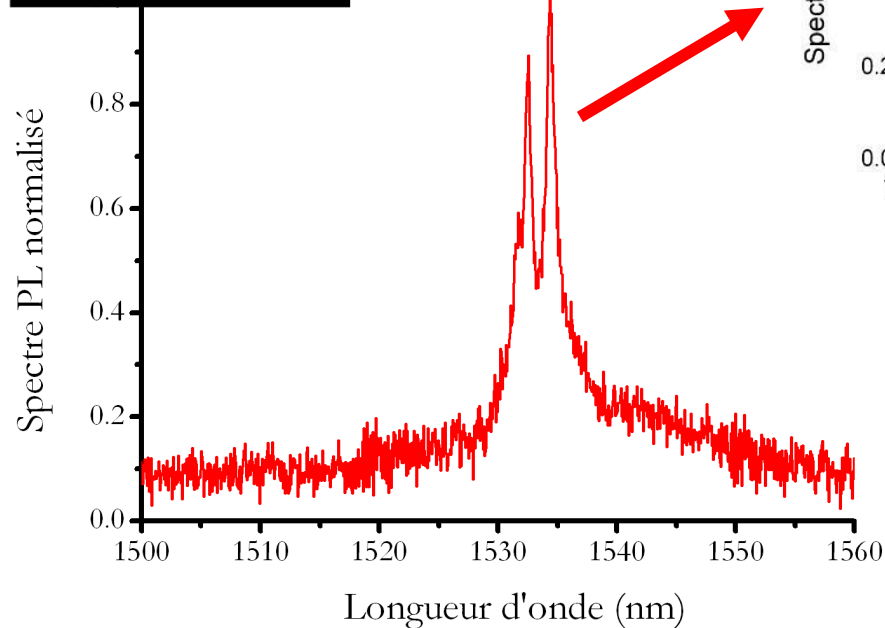
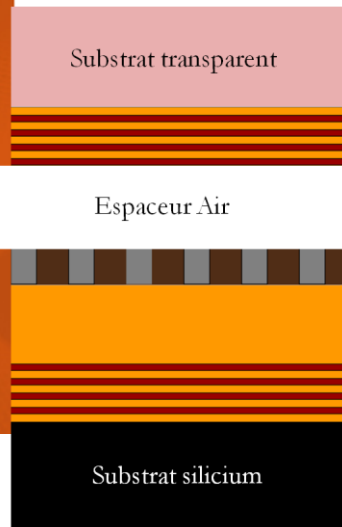
Couche AR

Substrat aminci

Substrat silicium

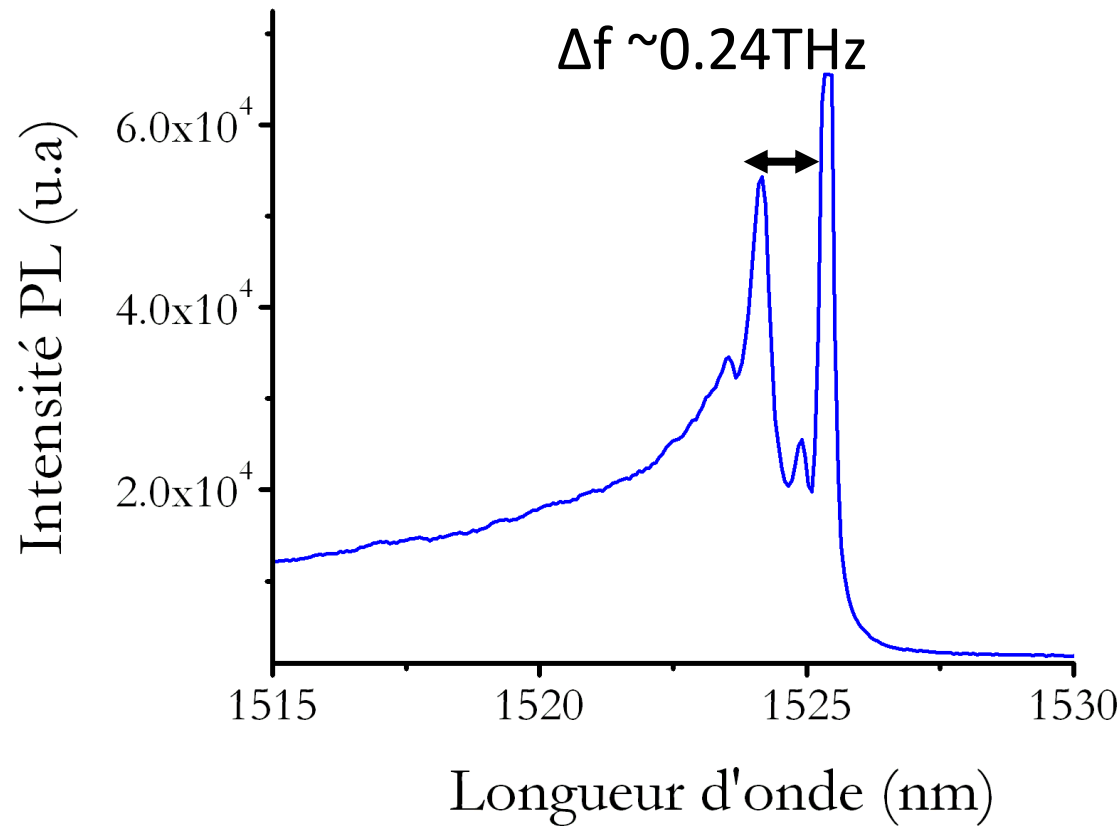
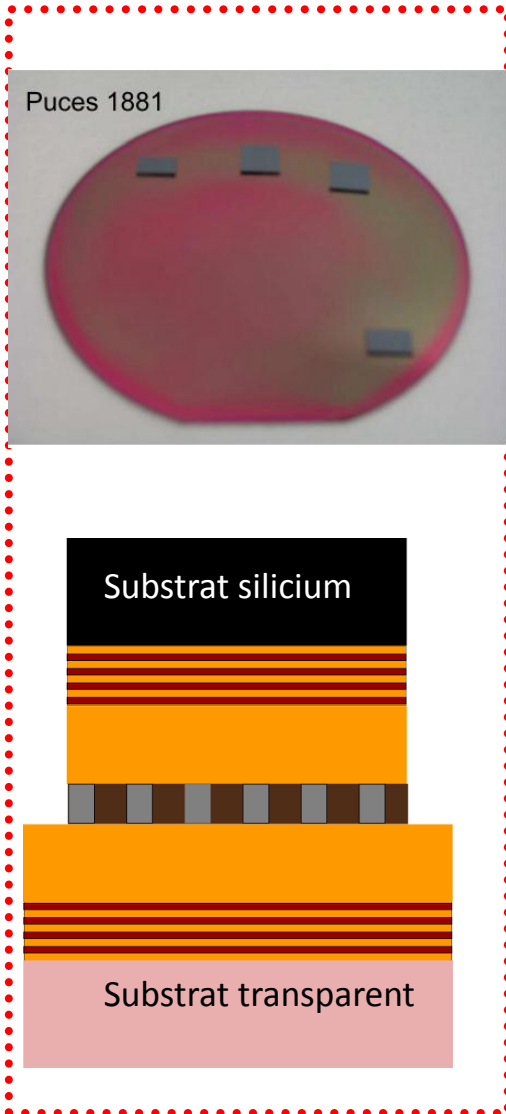
Laser bi-fréquences : résultats

Résonateur actif (4 PQs InAsP) à cavité étendue: Photoluminescence

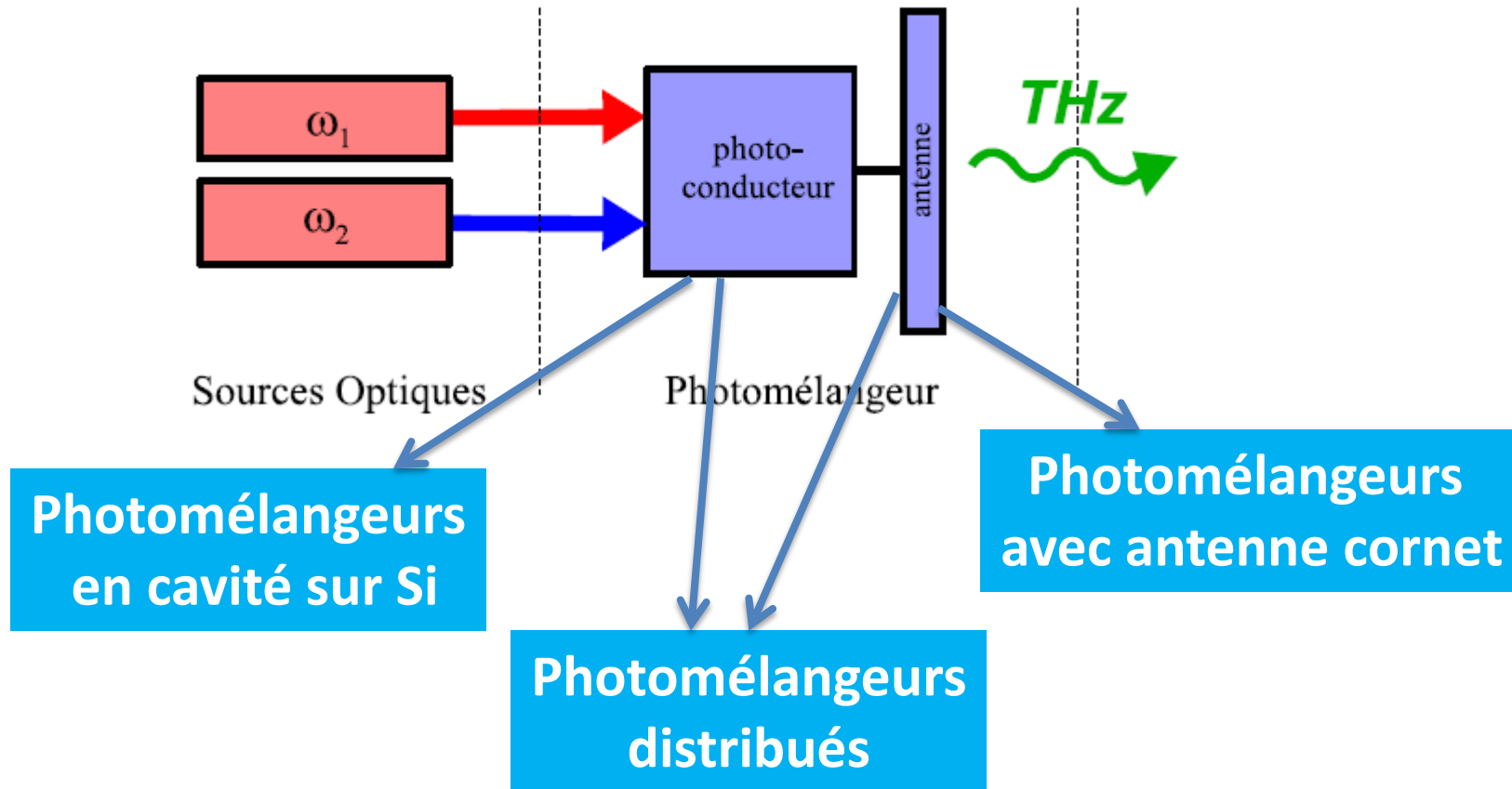


Laser bi-fréquences : résultats

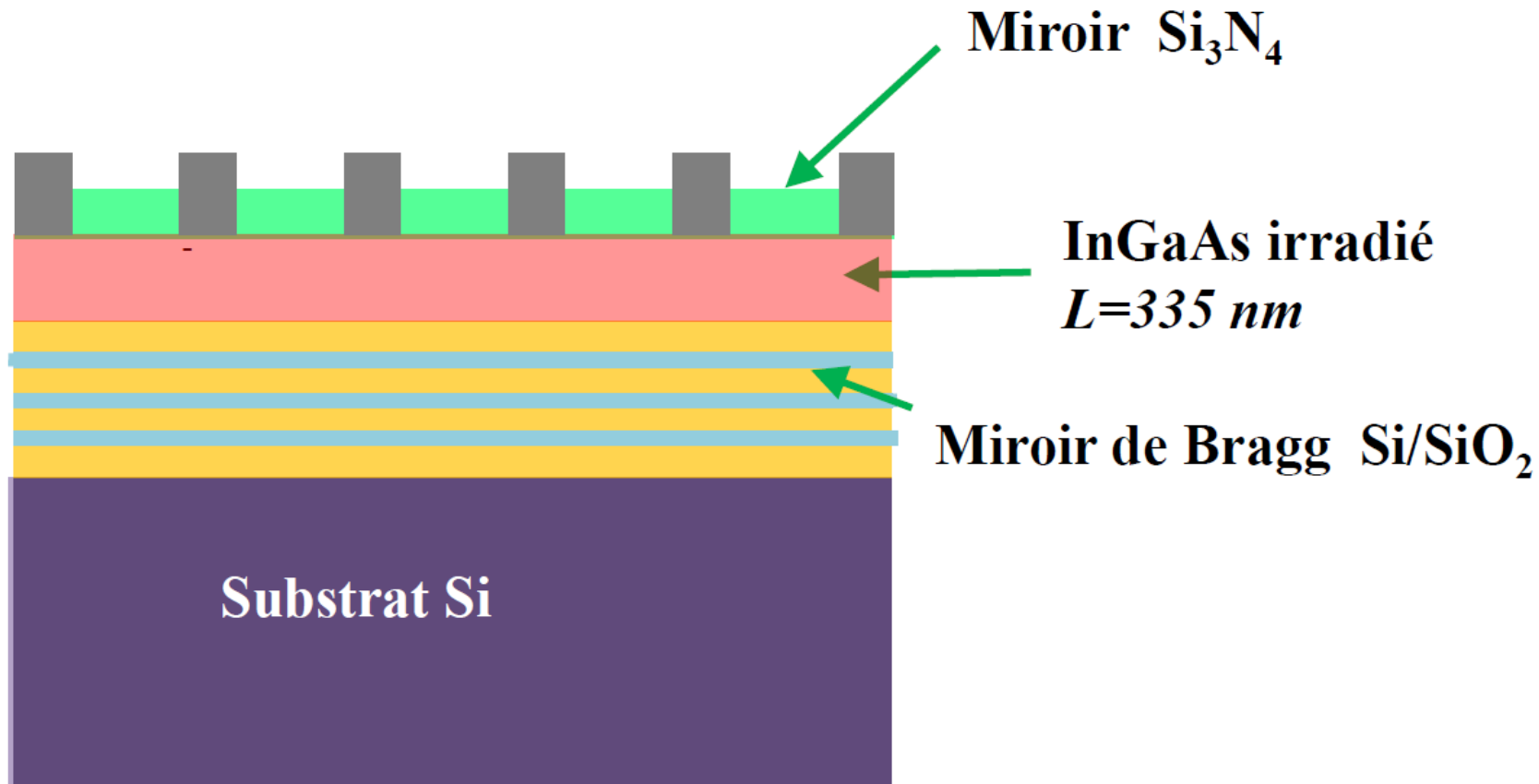
microrésonateur actif (4 PQs InAsP) monolithique: Photoluminescence



Photomélangeurs hautes performances

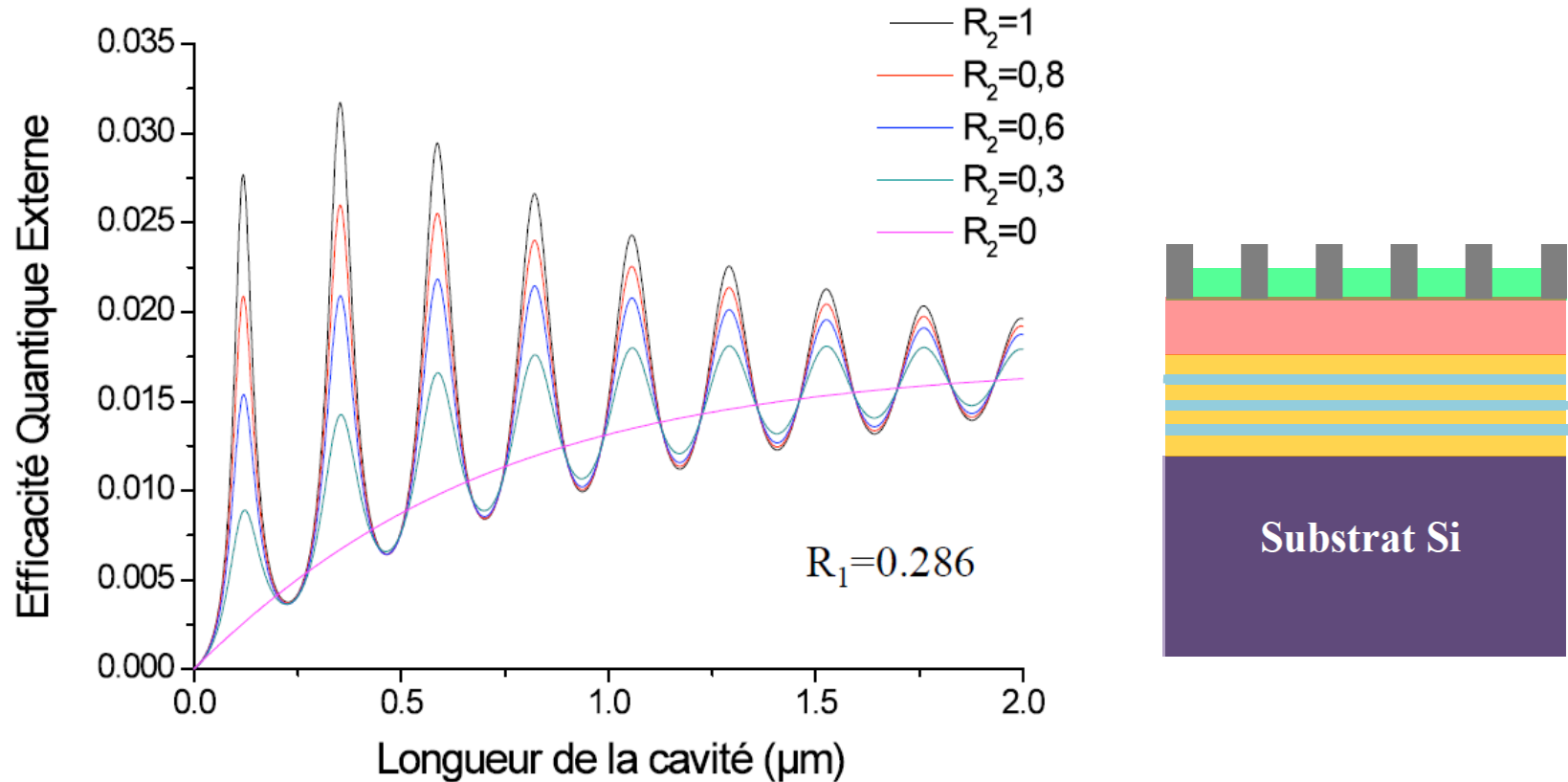


Photomélangeurs en cavité sur Si



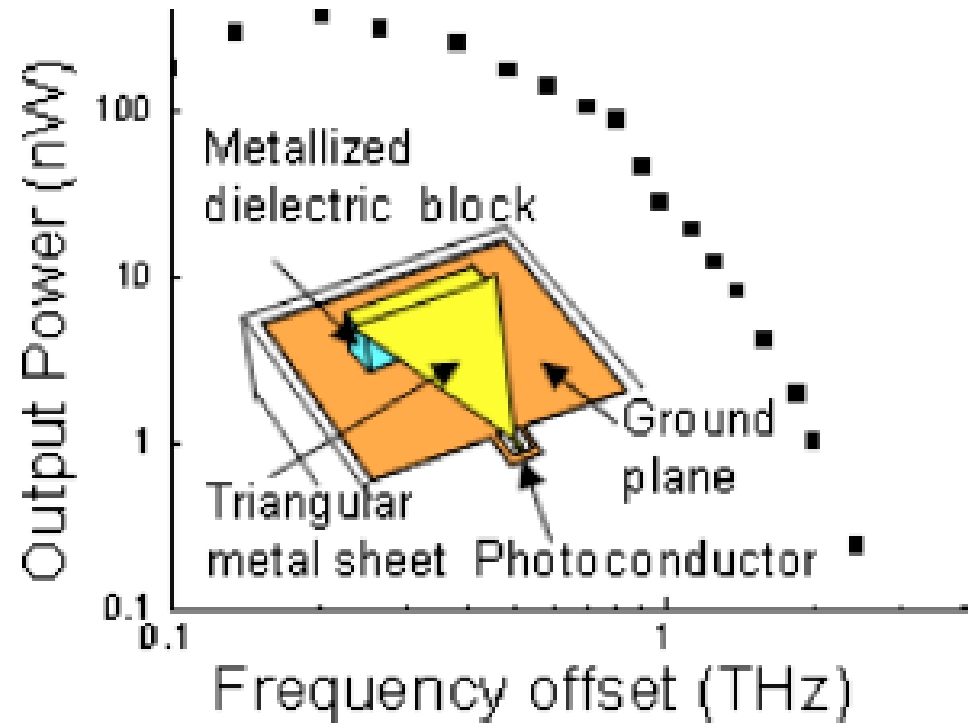
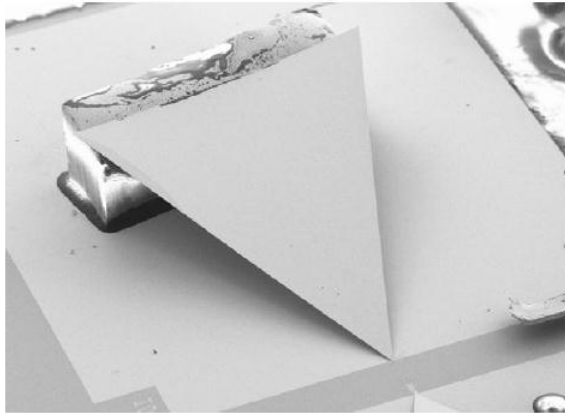
- **Cavité** : augmentation du rendement quantique
- **Substrat Si** : Evacuation efficace de la chaleur

Photomélangeurs en cavité sur Si



fort rendement pour des épaisseurs d'absorbant plus faible
Absorption au max des lignes de courant

Photomélangeurs avec antenne cornet



Puissance rayonnée :
0.38 μ W @ 200 GHz, 0.1 μ W 700 GHz
X 4 par rapport à une antenne spirale

Photomélangeurs distribués : principe

- Exploitation d'un guide double métal pour le signal THz
- Recherche de l'accord de phase entre le battement optique et l'onde THz

Surface active importante



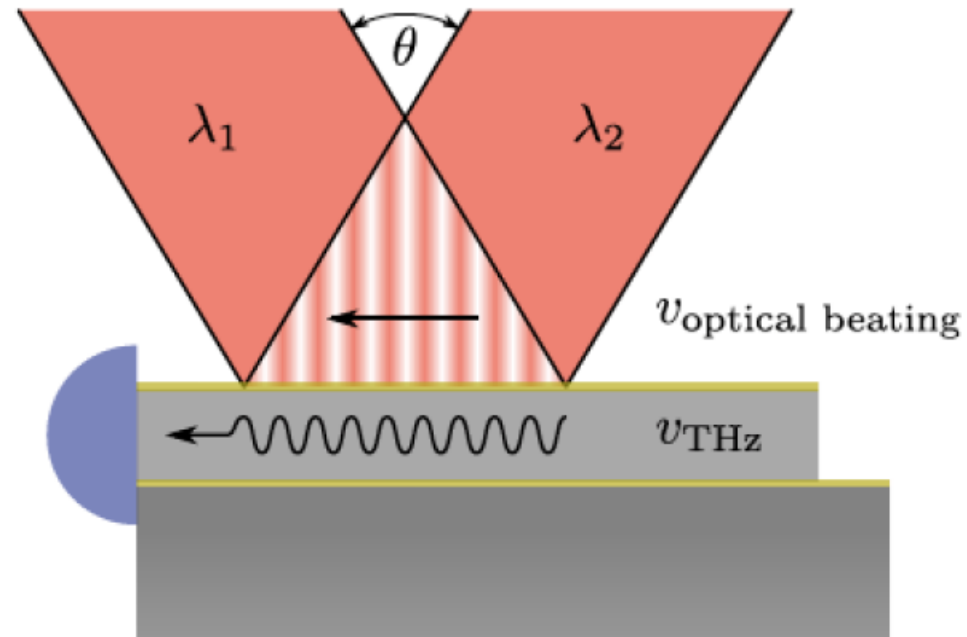
Réduction de la densité de puissance thermique à dissiper



Génération le long d'une ligne de transmission en gardant des conditions de superposition cohérente

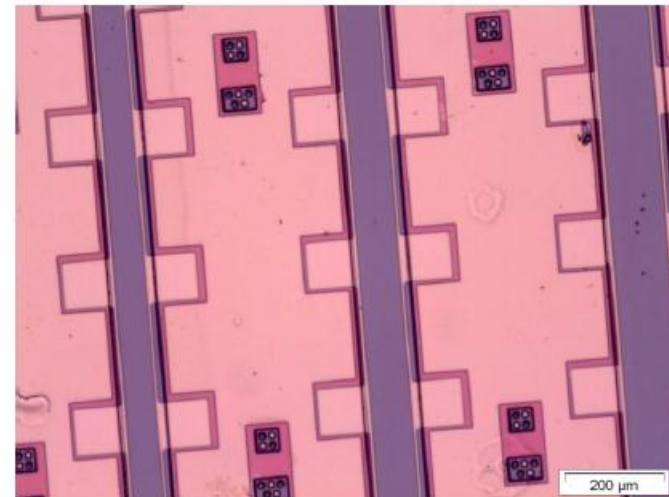
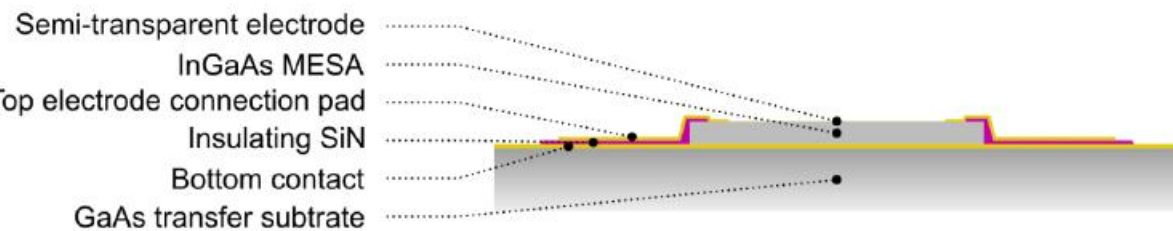
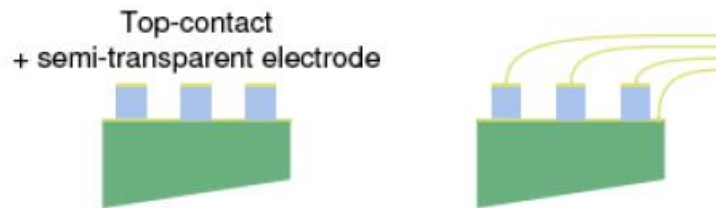
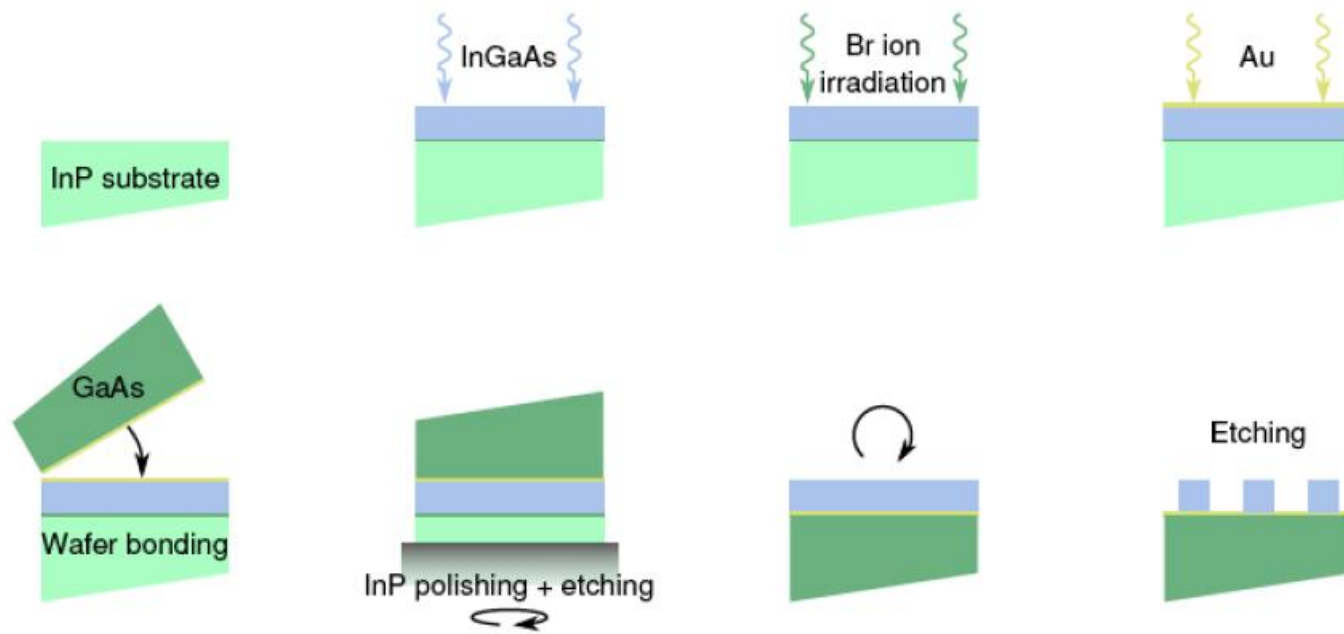


Bande passante préservée

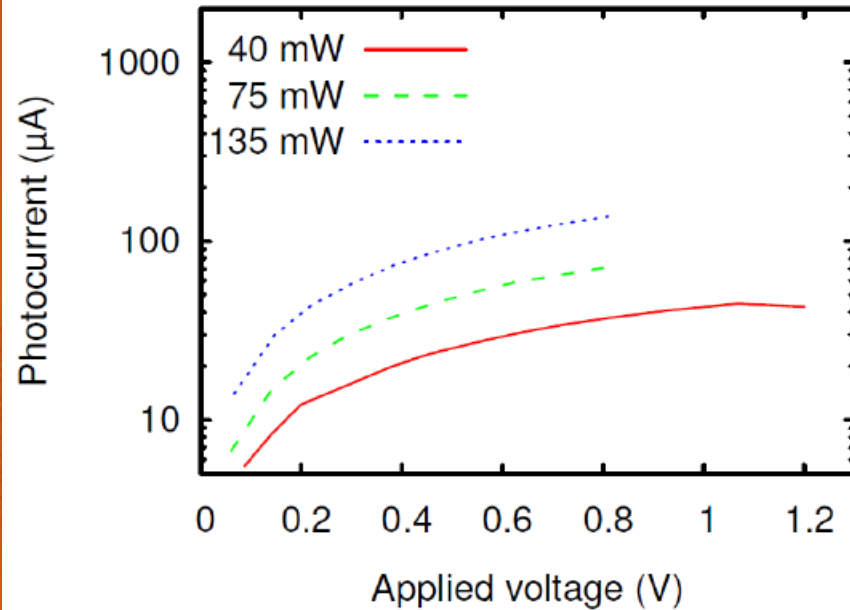


$$V_{\text{optical beating}} = \frac{\lambda_{\text{opt}} f_{\text{THz}}}{2 \sin(\theta/2)}$$

Photomélangeurs distribués : technologie

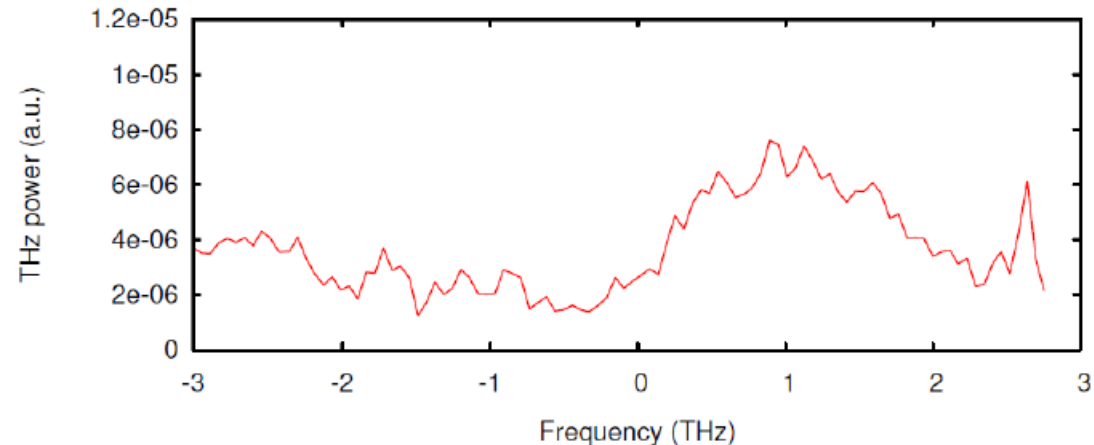


Photomélangeurs distribués : résultats préliminaires



- Photocourant : 7,5 mA (pour 800 mW de puissance optique et 300 mA de courant continu) – limité par la puissance optique, pas de saturation

- Première mesure d'émission THz à l'aide d'une cellule de Golay (avant claquage de l'échantillon) :
~ 1-2 nW



Conclusion

- Microlaser bi-fréquence
 - Proposition d'1 nouveau concept de cavité bi-mode
 - Validé théoriquement et expérimentalement
 - Etude d'une solution d'émission b-fréquence stable
 - Mise en place d'une technologie III-V/Si «double report»
 - Démonstration de cavités bi-modes passives et actives
 - Fabrication de microlasers (en cours de test)
 - Conception d'une version accordable (en cours de fabrication)
- Photomélangeurs
 - Conception de photomélangeurs à cavité III-V/Si (en cours de fabrication)
 - Réalisation de photomélangeurs à antennes cornet à fort rendement
 - Réalisation de photomélangeurs distribués

BASTET

- Publications
 - 4 articles dans des revues internationales (+ 2 en préparation)
 - 7 communications dans des conférences internationales à comité de lecture
 - 5 autres communications
 - 1 brevet associé (INL)
- CDD
 - 1 thèse : Koku Kusiaku (INL)
 - 3 postdocs : Thibault Laurent (IEF), Trinca Dragos et Disanto Fillipo (IES)