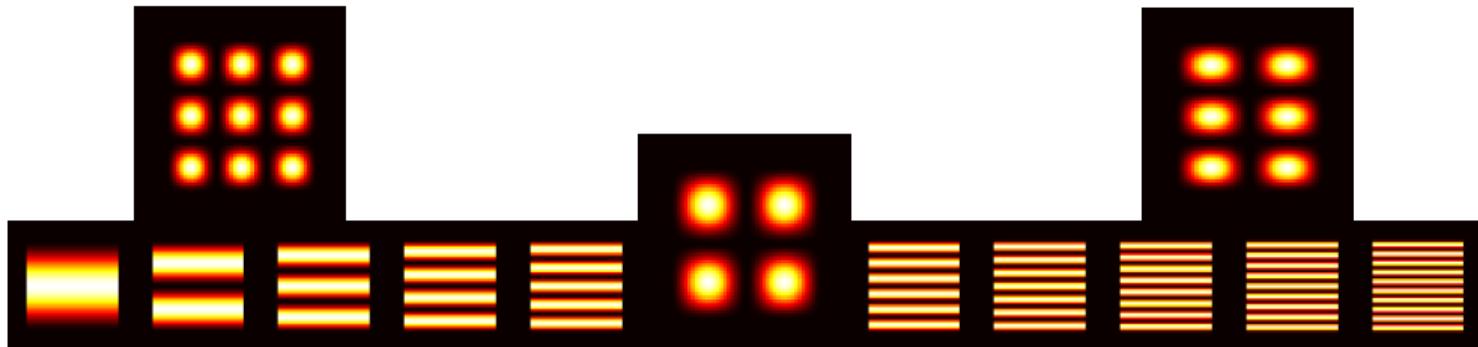


Adressage de modes d'ordre élevé dans une cavité photonique

à l'aide d'une masque de phase programmable

Antoine Rouxel¹, Stéphane Calvez¹, **Antoine Monmayrant¹**,
Olivier Gauthier-Lafaye¹

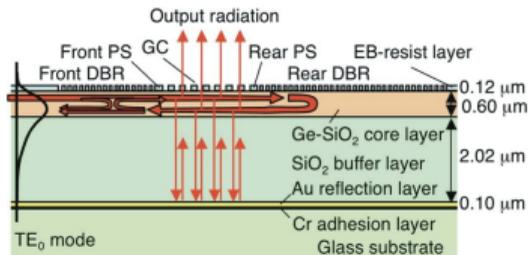
¹ LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, France



CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

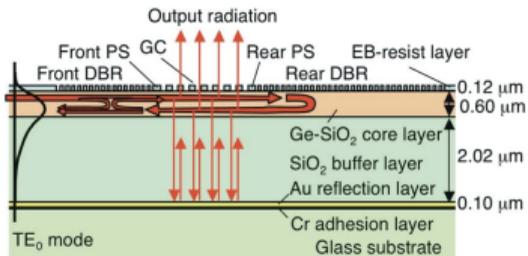
CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

coupleurs optiques

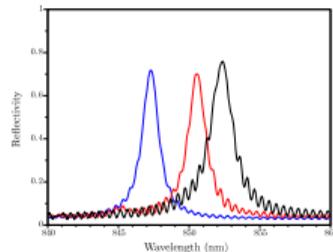


CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

coupleurs optiques

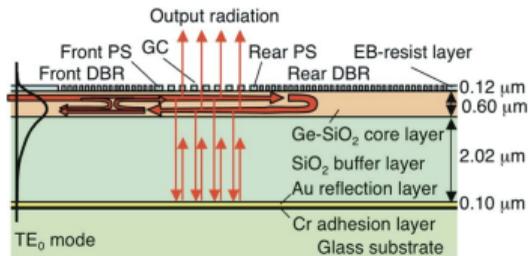


filtres

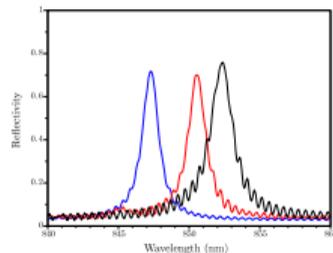


CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

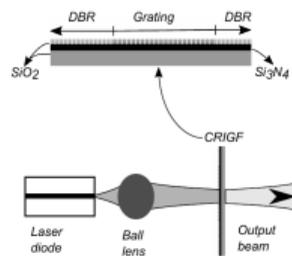
coupleurs optiques



filtres

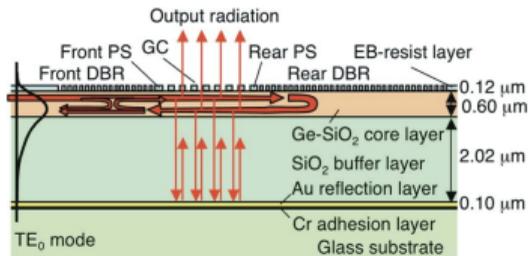


cavité lasers

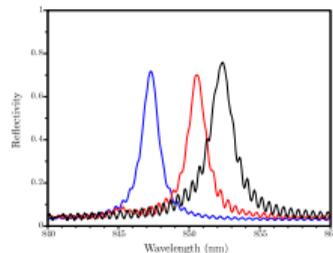


CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

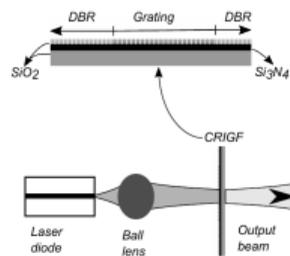
coupleurs optiques



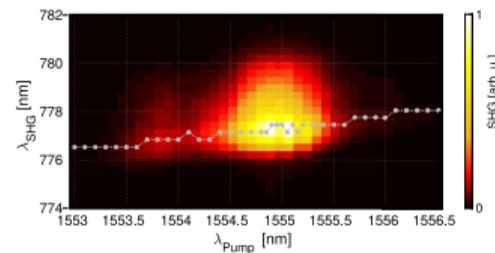
filtres



cavité lasers

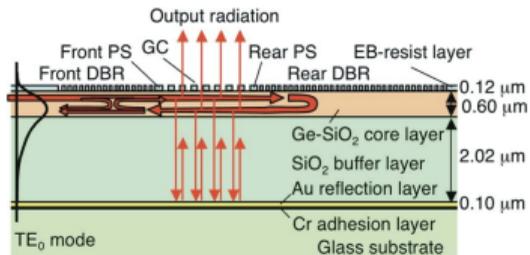


cavités non-linéaires

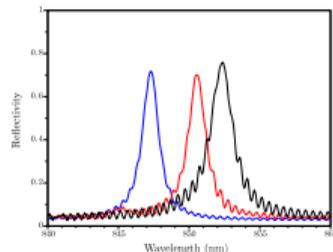


CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

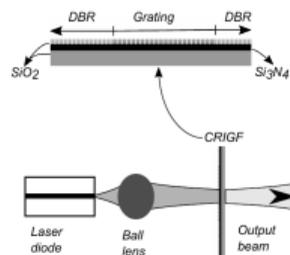
coupleurs optiques



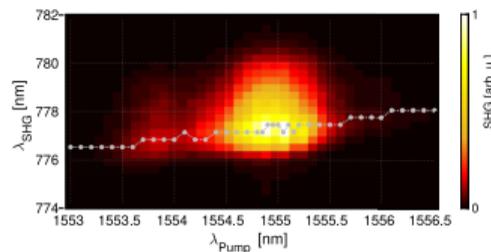
filtres



cavité lasers



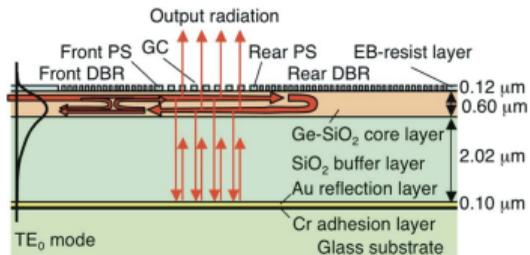
cavités non-linéaires



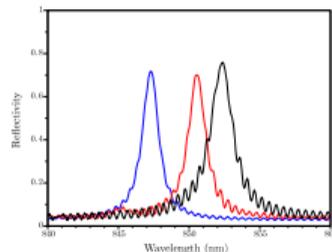
Adresser les modes spatio-spectraux supérieurs offrirait :

CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

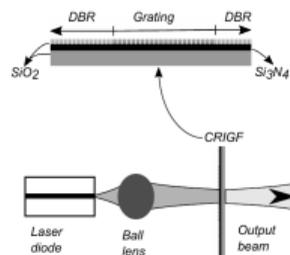
coupleurs optiques



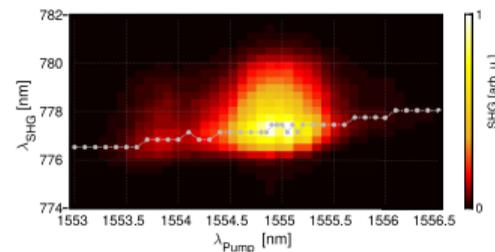
filtres



cavité lasers



cavités non-linéaires

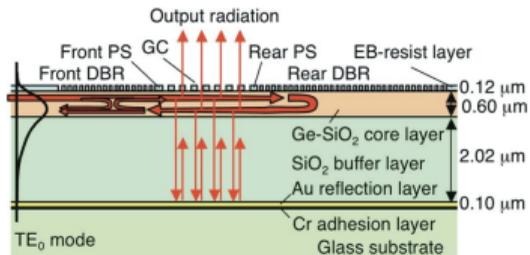


Adresser les modes spatio-spectraux supérieurs offrirait :

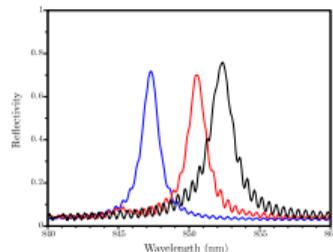
des coupleurs et des filtres sélectifs spatialement et spectralement (FMF)

CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

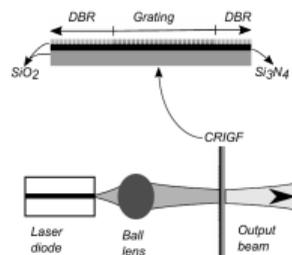
coupleurs optiques



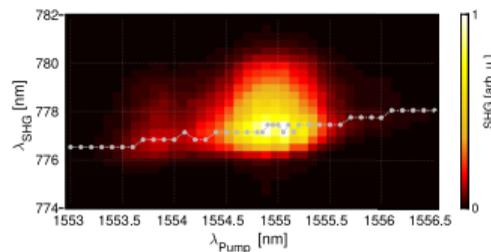
filtres



cavité lasers



cavités non-linéaires

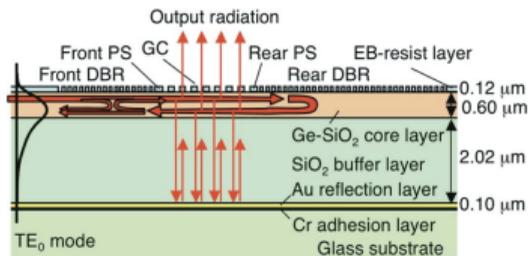


Adresser les modes spatio-spectraux supérieurs offrirait :

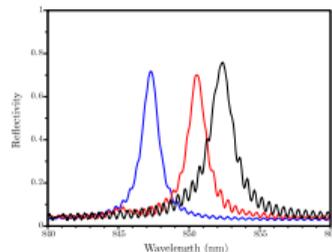
des coupleurs et des filtres sélectifs spatialement et spectralement (FMF)
le contrôle des modes laser transverses (laser larges mono-modes)

CRIGFs : composants photoniques spectralement sélectifs et miniatures

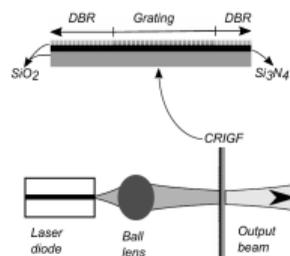
coupleurs optiques



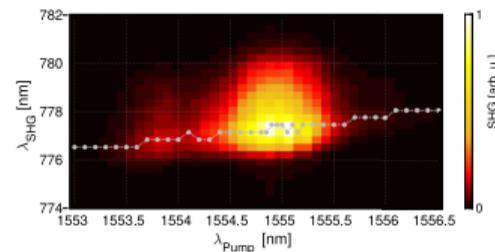
filtres



cavité lasers



cavités non-linéaires



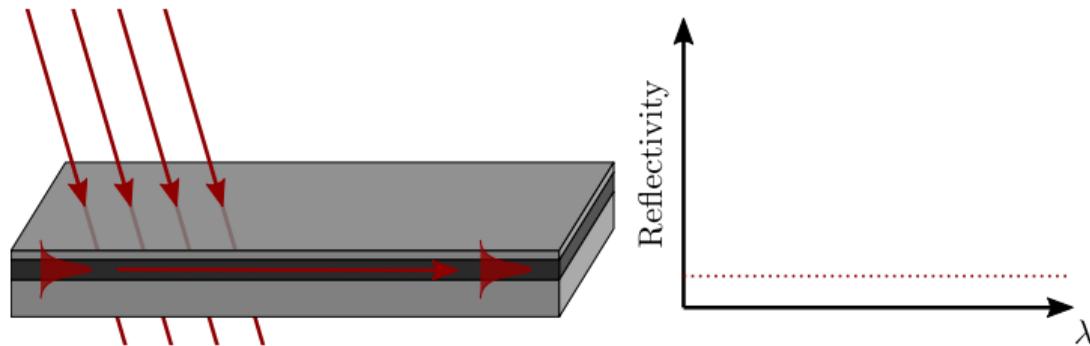
Adresser les modes spatio-spectraux supérieurs offrirait :

- des coupleurs et des filtres sélectifs spatialement et spectralement (FMF)
- le contrôle des modes laser transverses (laser larges mono-modes)
- des interactions non-linéaires multimodes (SFM, DFM, SPDC, etc...)

CRIGF : kézako ?

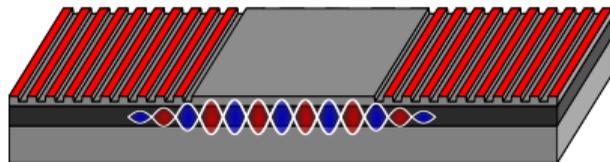
Cavity Resonator Integrated Grating Filters _____

Cavity Resonator Integrated Grating Filters



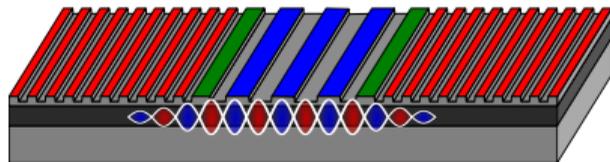
Multicouche : guide d'onde & antireflet @ λ_0

Cavity Resonator Integrated Grating Filters



Multicouche : guide d'onde & antireflet @ λ_0
2 **DBRs** formant une cavité Fabry-Pérot planaire
Modes propres sont des ondes stationnaires

Cavity Resonator Integrated Grating Filters



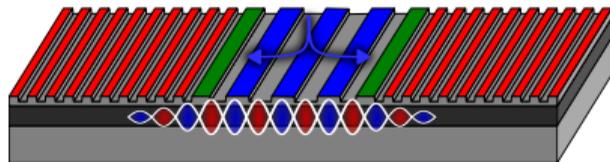
Multicouche : guide d'onde & antireflet @ λ_0

2 **DBRs** formant une cavité Fabry-Pérot planaire

Modes propres sont des ondes stationnaires

Petit **Réseau Coupleur (GC)** perturbatif & 2 **sections de phase (PS)**

Cavity Resonator Integrated Grating Filters



Multicouche : guide d'onde & antireflet @ λ_0

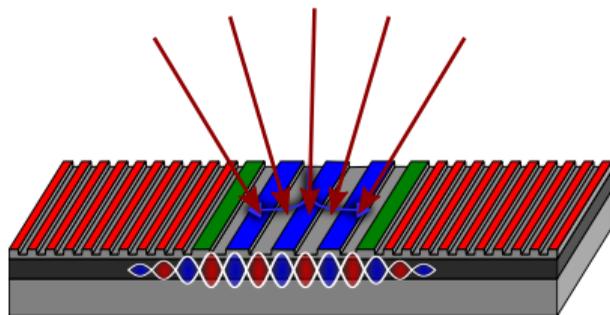
2 **DBRs** formant une cavité Fabry-Pérot planaire

Modes propres sont des ondes stationnaires

Petit **Réseau Coupleur (GC)** perturbatif & 2 **sections de phase (PS)**

Mode propre stationnaire couplé à

Cavity Resonator Integrated Grating Filters



Multicouche : guide d'onde & antireflet @ λ_0

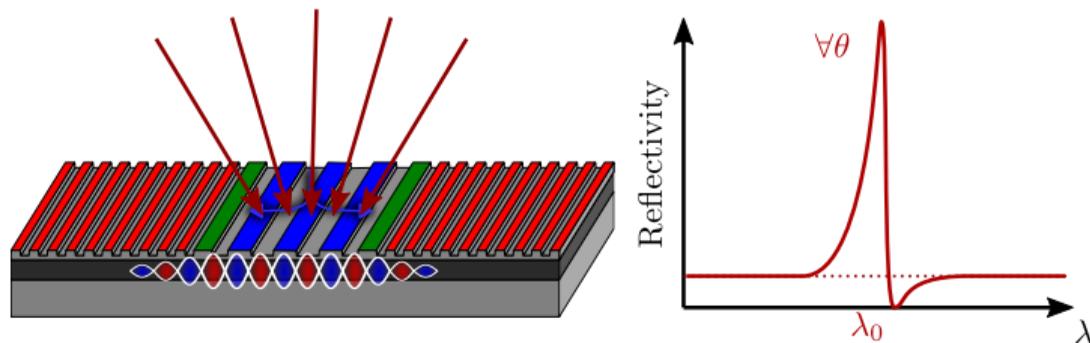
2 **DBRs** formant une cavité Fabry-Pérot planaire

Modes propres sont des ondes stationnaires

Petit **Réseau Coupleur (GC)** perturbatif & 2 **sections de phase (PS)**

Mode propre stationnaire couplé à un **faisceau incident focalisé**

Cavity Resonator Integrated Grating Filters



Multicouche : guide d'onde & antireflet @ λ_0

2 DBRs formant une cavité Fabry-Pérot planaire

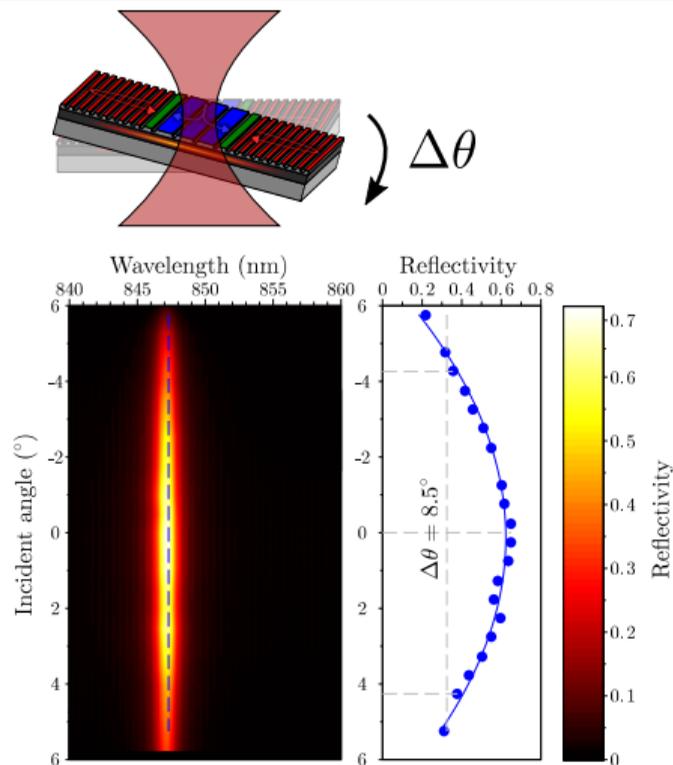
Modes propres sont des ondes stationnaires

Petit Réseau Coupleur (GC) perturbatif & 2 sections de phase (PS)

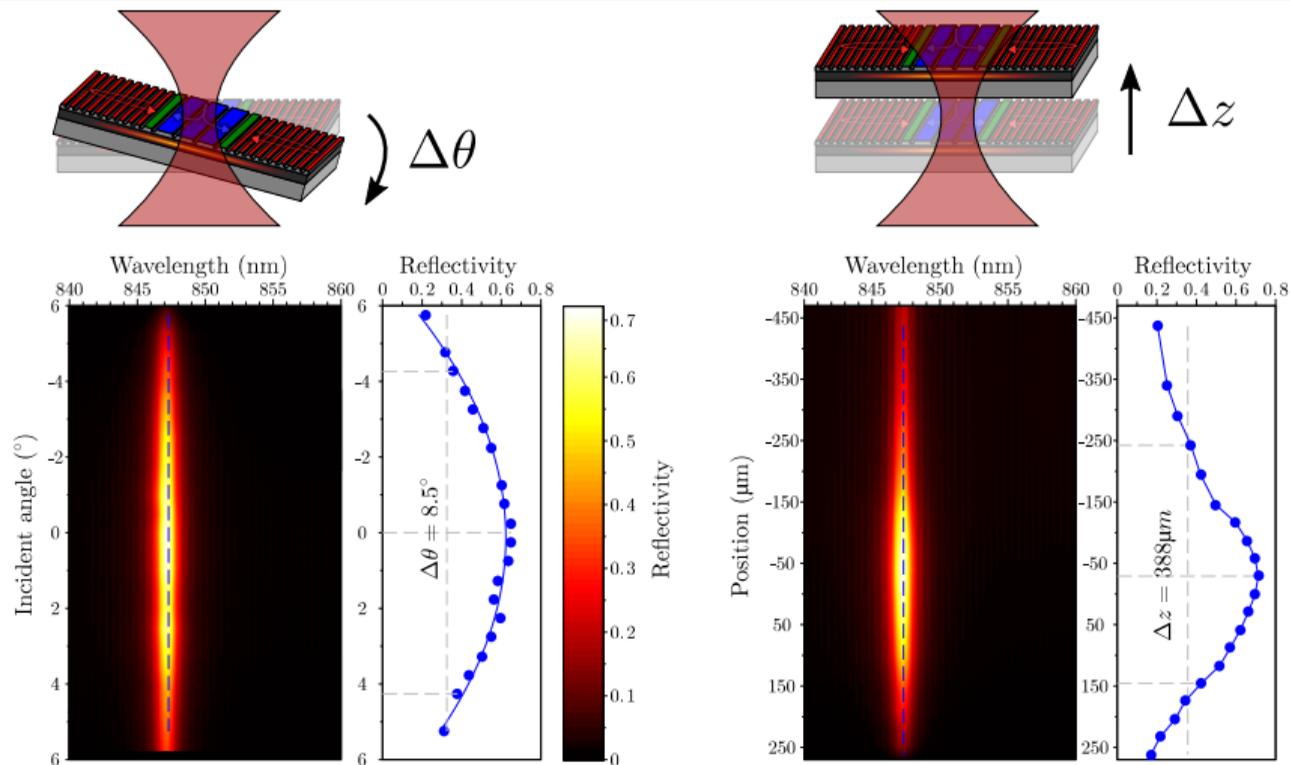
Mode propre stationnaire couplé à un **faisceau incident focalisé**

Filtre spectralement étroit et **angulairement tolérant**

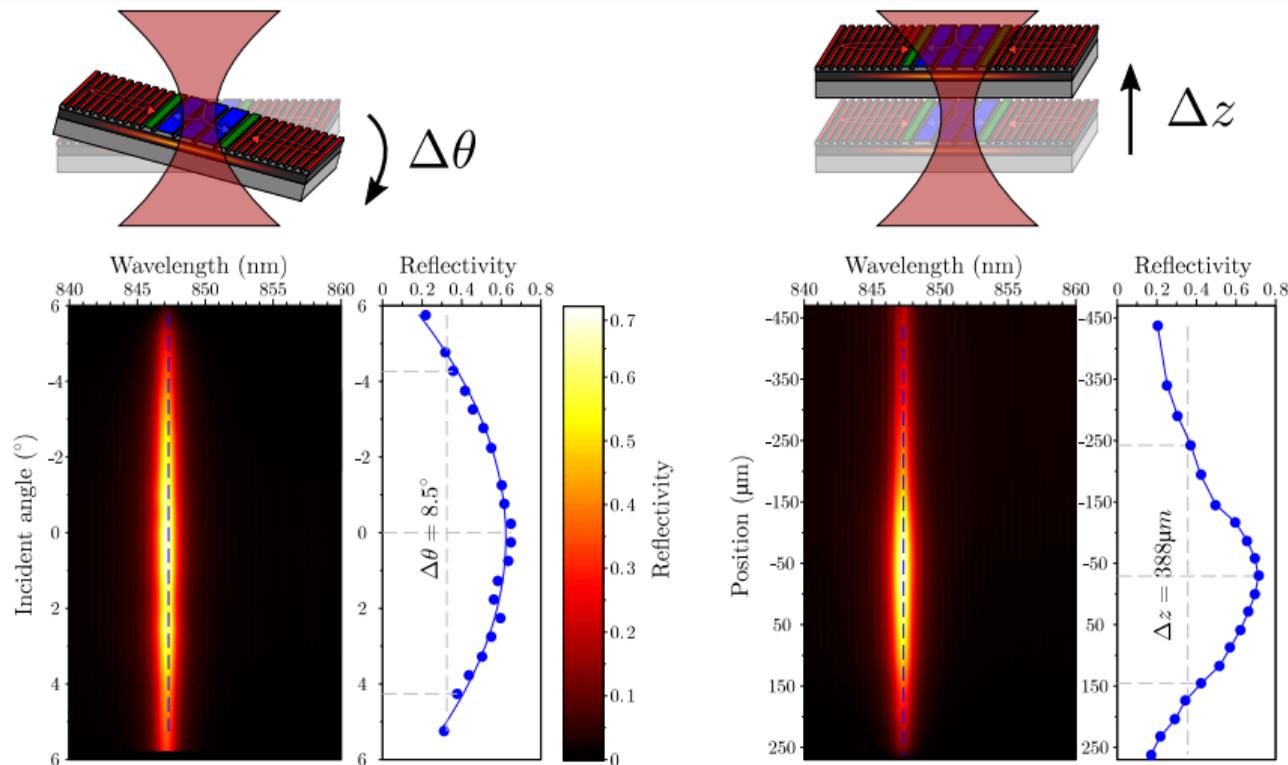
CRIGFs : mono-modes quels que soient l'angle et la position d'incidence



CRIGFs : mono-modes quels que soient l'angle et la position d'incidence

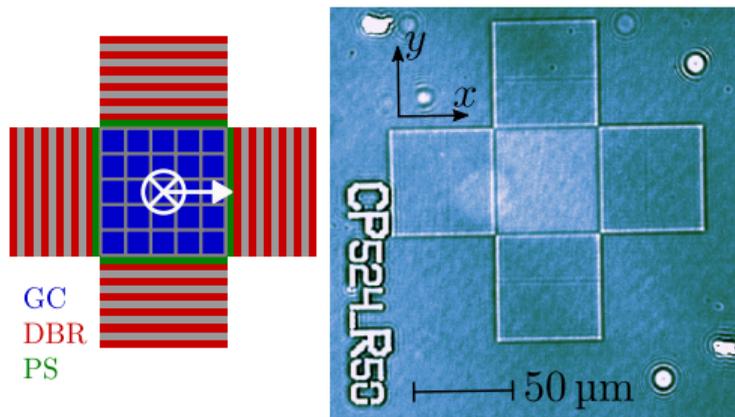


CRIGFs : mono-modes quels que soient l'angle et la position d'incidence



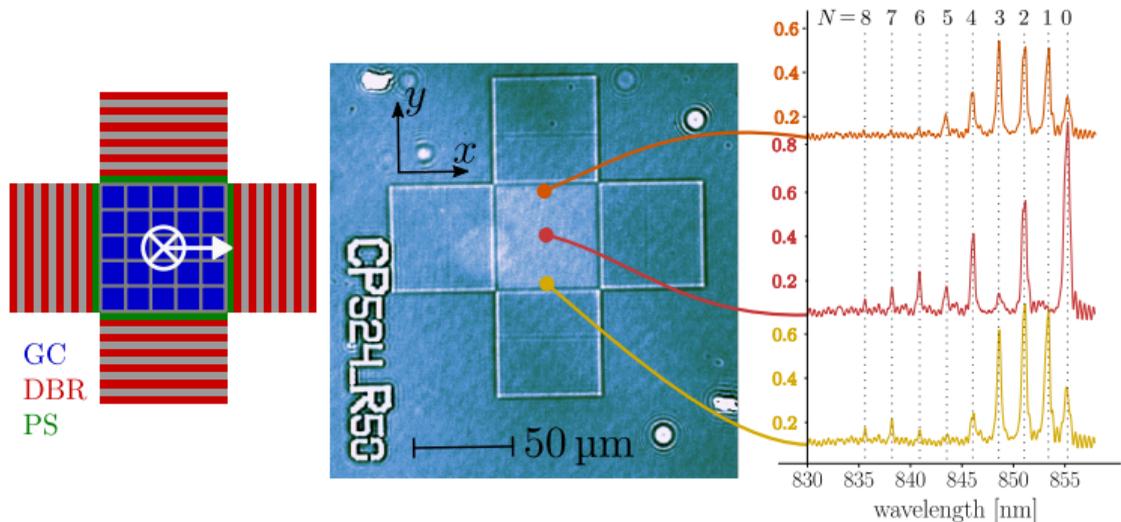
Tant que le GC et le faisceau incident sont de même taille !

L'histoire du grand CRIGF(2D) & du petit faisceau



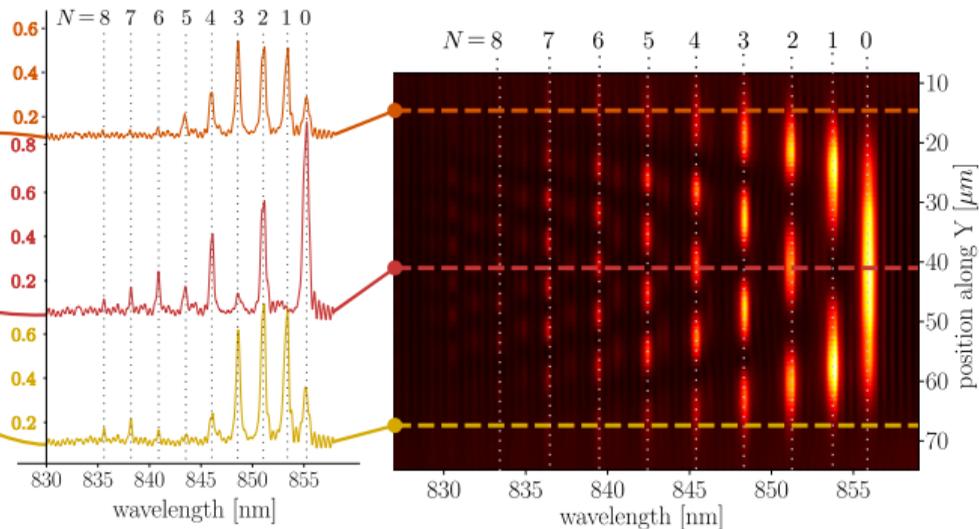
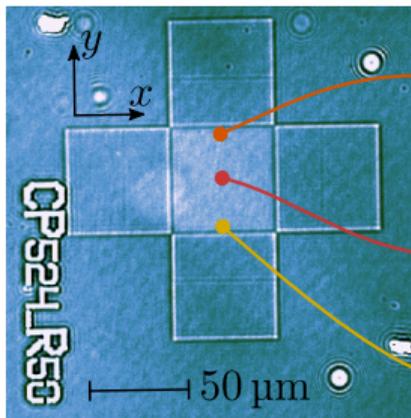
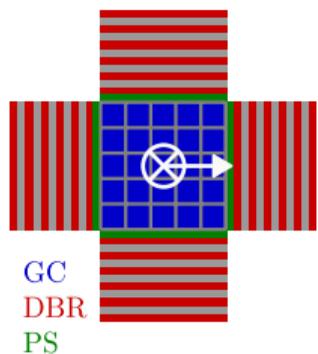
GC de $53 \times 53 \mu\text{m}^2$ & Faisceau gaussien de quelques μm^2

L'histoire du grand CRIGF(2D) & du petit faisceau



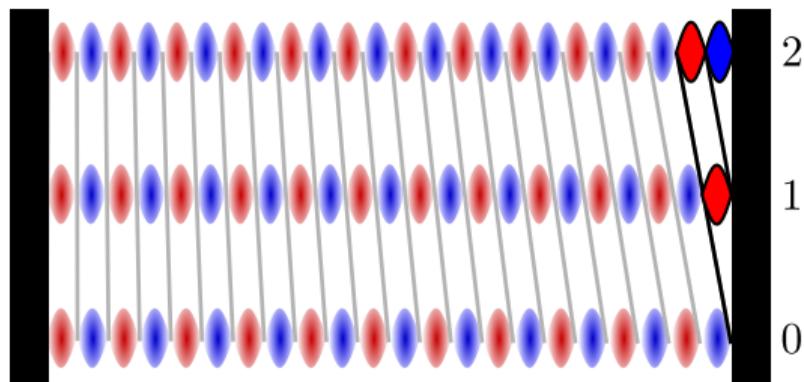
Des modes spectraux plus ou moins bien excités

L'histoire du grand CRIGF(2D) & du petit faisceau



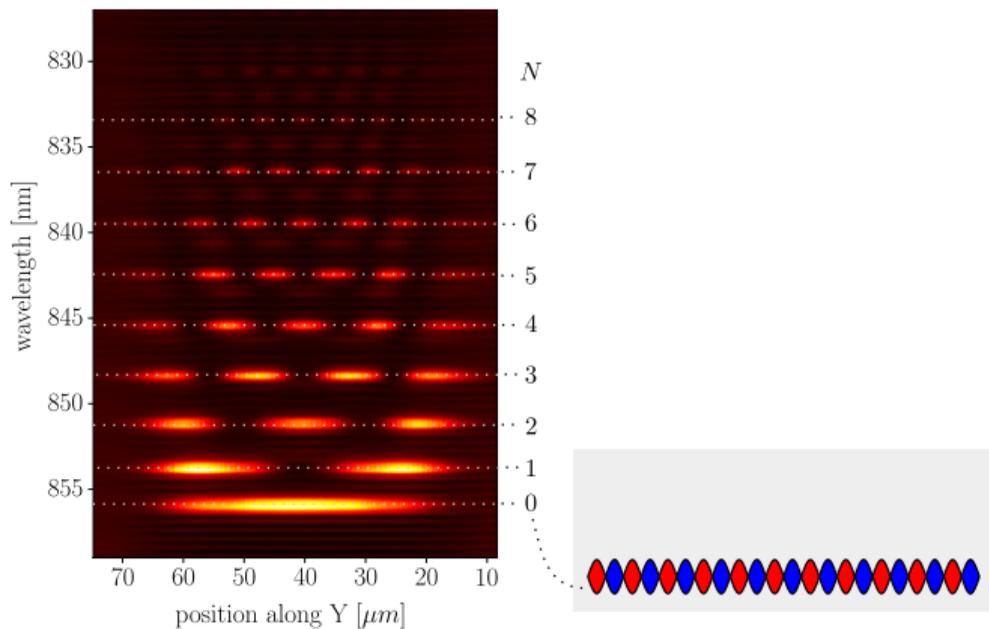
Un paysage spatio-spectral assez riche

Les modes d'ordre supérieurs sont dus à un effet de moiré



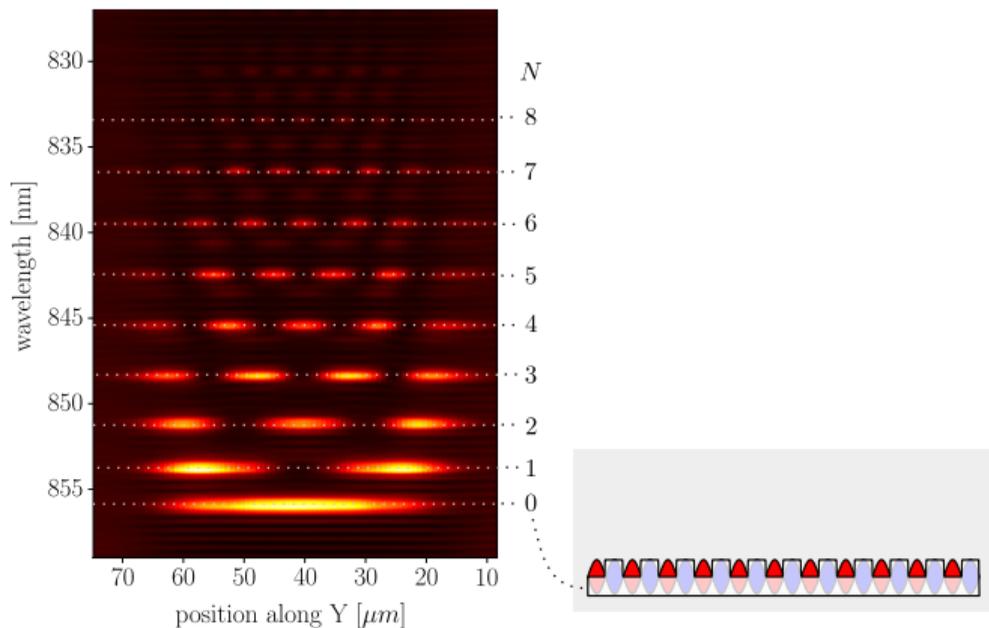
Modes du CRIGF \simeq modes Fabry-Pérot
Ondes stationnaires entre les miroirs
Nombre entier de **demi-périodes**
 $N \rightarrow N + 1$ rajoute **+1 demi-période**

Les modes d'ordre supérieurs sont dus à un effet de moiré



Mode N = 0 :

Les modes d'ordre supérieurs sont dus à un effet de moiré

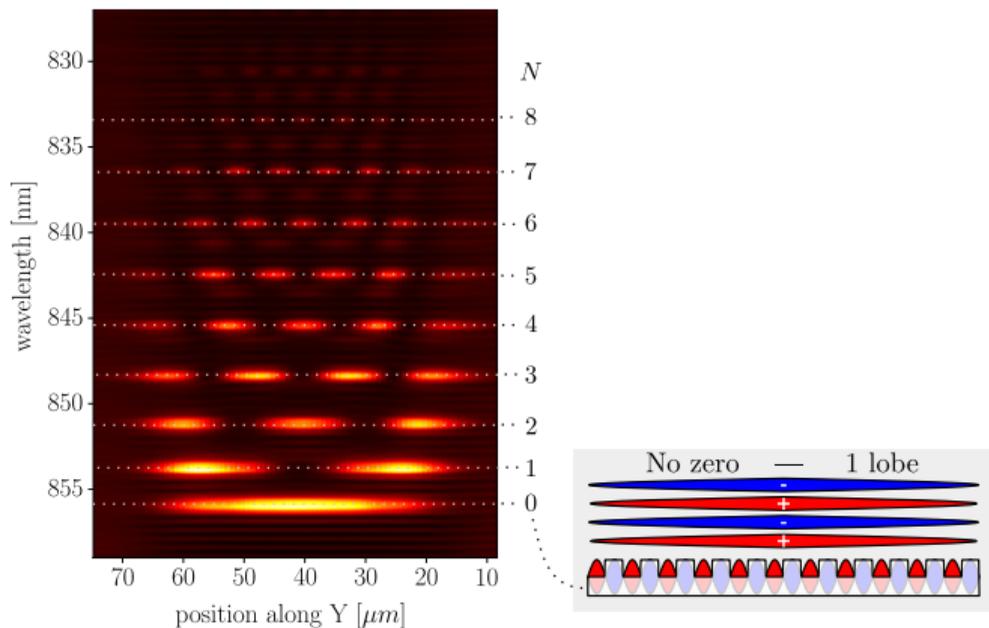


Mode $N = 0$:

Adapté parfaitement au **GC**

(période et phasage identiques)

Les modes d'ordre supérieurs sont dus à un effet de moiré



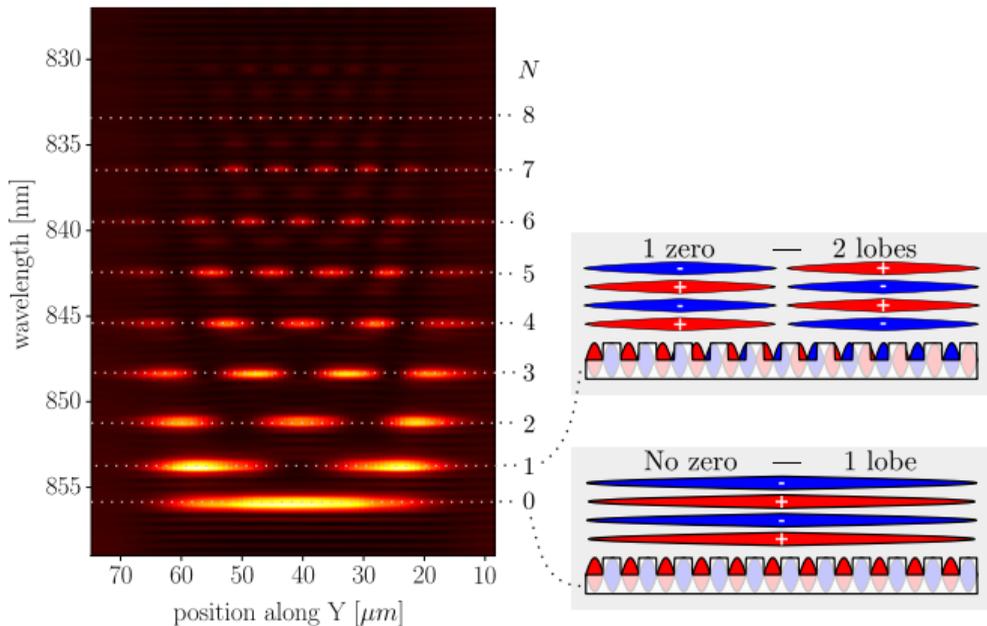
Mode $N = 0$:

Adapté parfaitement au GC

(période et phasage identiques)

Front de phase découplé constant

Les modes d'ordre supérieurs sont dus à un effet de moiré



Mode $N = 1$:

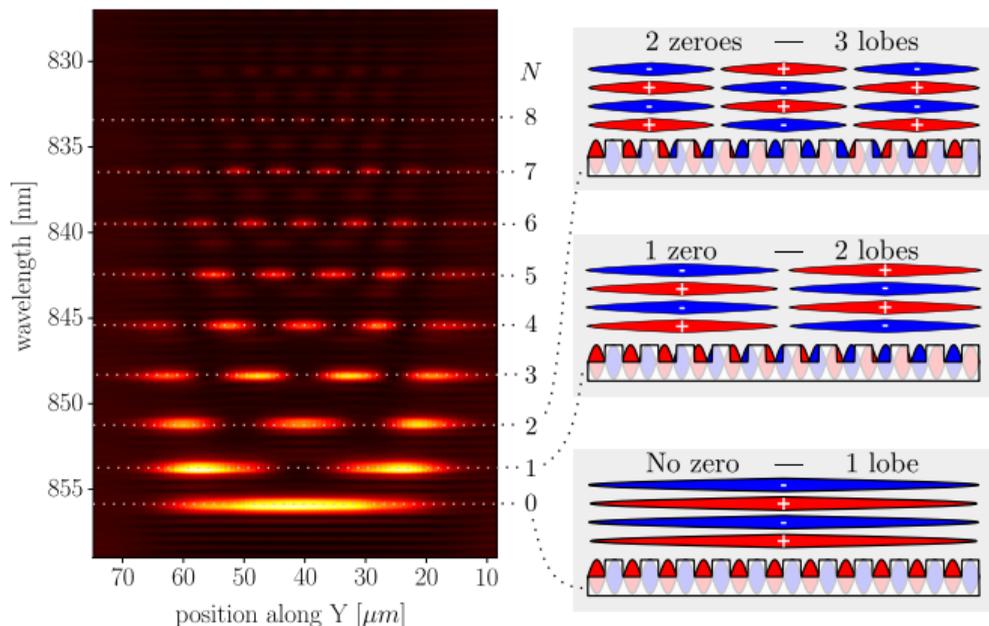
1 demi-période de plus que le GC

Motif de moiré/battement

2 lobes de signes opposés

Au centre : quadrature \rightarrow plan nodal

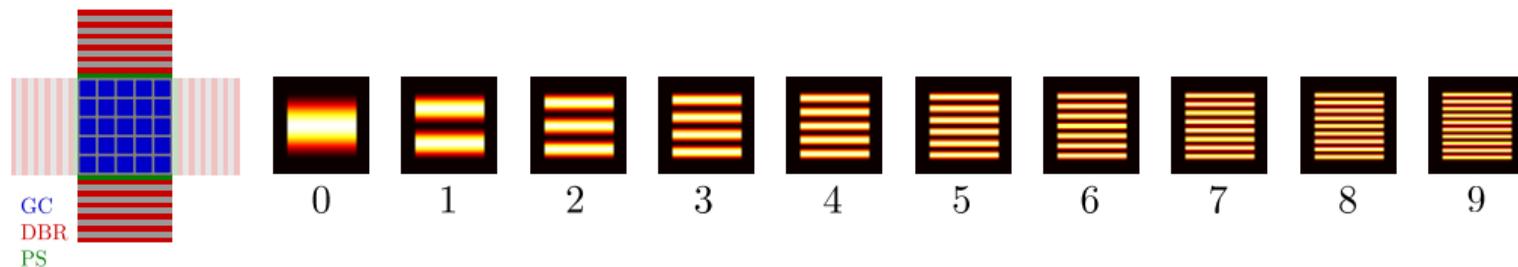
Les modes d'ordre supérieurs sont dus à un effet de moiré



Mode N = 2 :

2 demi-périodes en plus
moiré plus rapide
+1 plan nodal ; +1 lobe

Profils théoriques des modes découplés

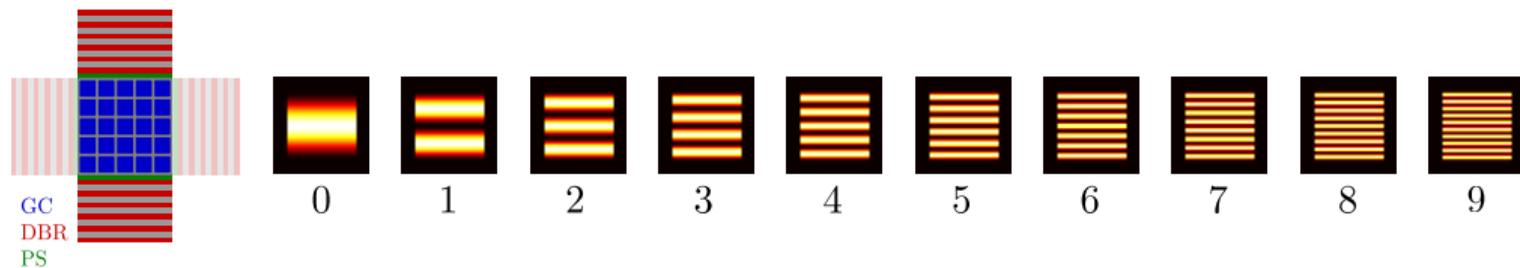


Mode découplé #N a une amplitude :

$$A_N(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{L}, \frac{y}{L}\right) \times \begin{cases} \cos(\pi y(N+1)/L) & \text{si } N \text{ est pair} \\ \sin(\pi y(N+1)/L) & \text{sinon} \end{cases}$$

où $L \simeq 53 \mu\text{m}$ est l'étendue du GC

Profils théoriques des modes découplés



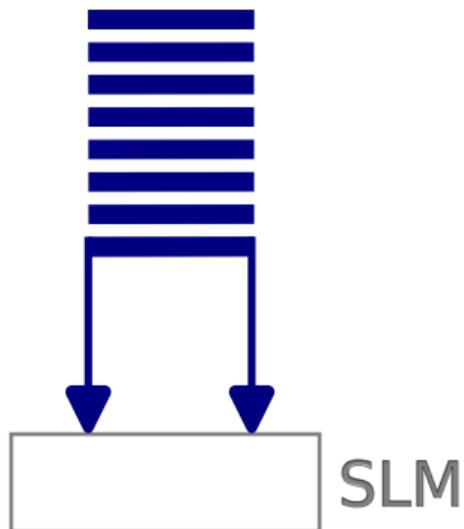
Mode découplé #N a une amplitude :

$$A_N(x, y) = \text{rect}\left(\frac{x}{L}, \frac{y}{L}\right) \times \begin{cases} \cos(\pi y(N+1)/L) & \text{si } N \text{ est pair} \\ \sin(\pi y(N+1)/L) & \text{sinon} \end{cases}$$

où $L \simeq 53 \mu\text{m}$ est l'étendue du GC

Comment générer de tels profils ?

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase

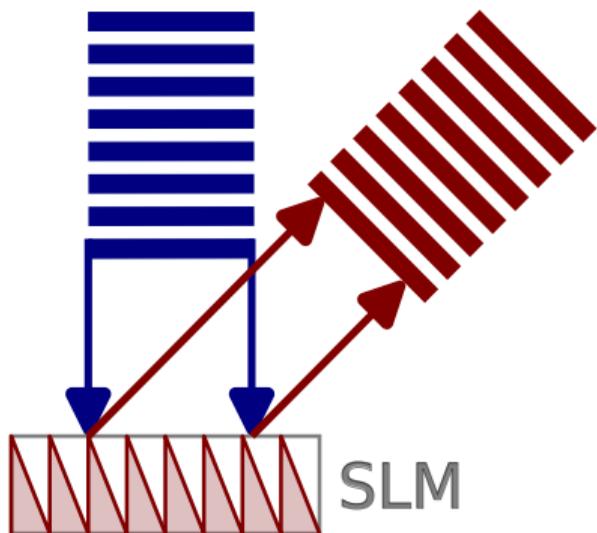


Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



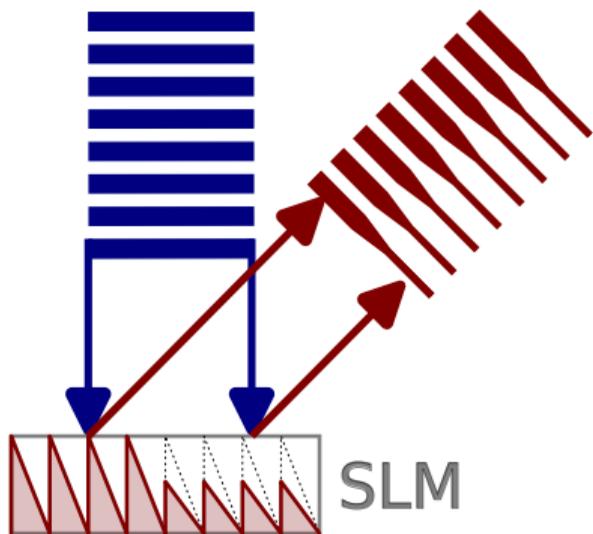
Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



Faisceau en incidence normale

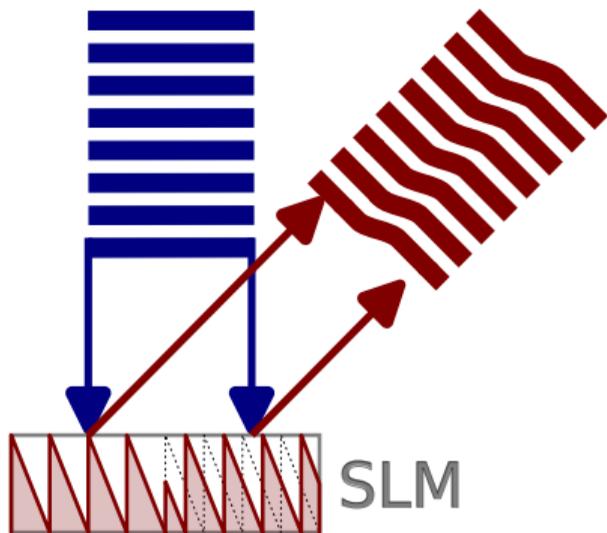
Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

Amplitude locale des dents : **amplitude diffractée**

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

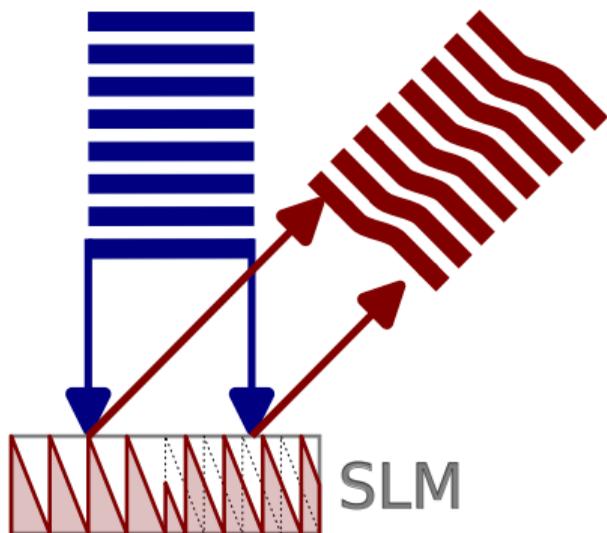
SLM : Spatial Light Modulator

Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

Amplitude locale des dents : amplitude diffractée

Position locale des dents (phase) : **phase diffractée**

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

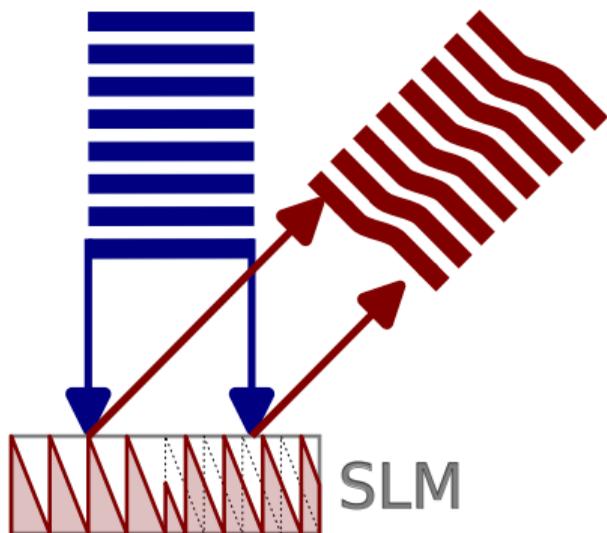
Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

Amplitude locale des dents : amplitude diffractée

Position locale des dents (phase) : phase diffractée

Une référence bien connue depuis 1999¹

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

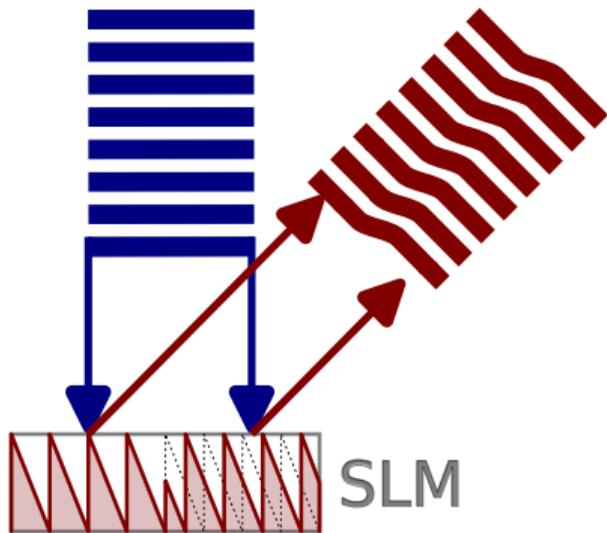
Amplitude locale des dents : amplitude diffractée

Position locale des dents (phase) : phase diffractée

Une référence bien connue depuis 1999¹

Une formulation alternative proposée en 2013²

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

Amplitude locale des dents : amplitude diffractée

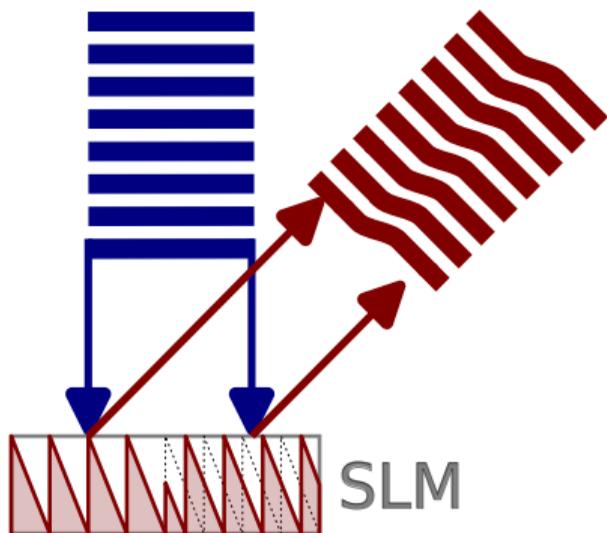
Position locale des dents (phase) : phase diffractée

Une référence bien connue depuis 1999¹

Une formulation alternative proposée en 2013²

Et une grande confusion en 2016³

Façonner phase & amplitude avec un modulateur de phase



Faisceau en incidence normale

Modulateur 2D n'agissant que sur la phase

SLM : Spatial Light Modulator

Réseau de phase blazé : faisceau diffracté

Amplitude locale des dents : amplitude diffractée

Position locale des dents (phase) : phase diffractée

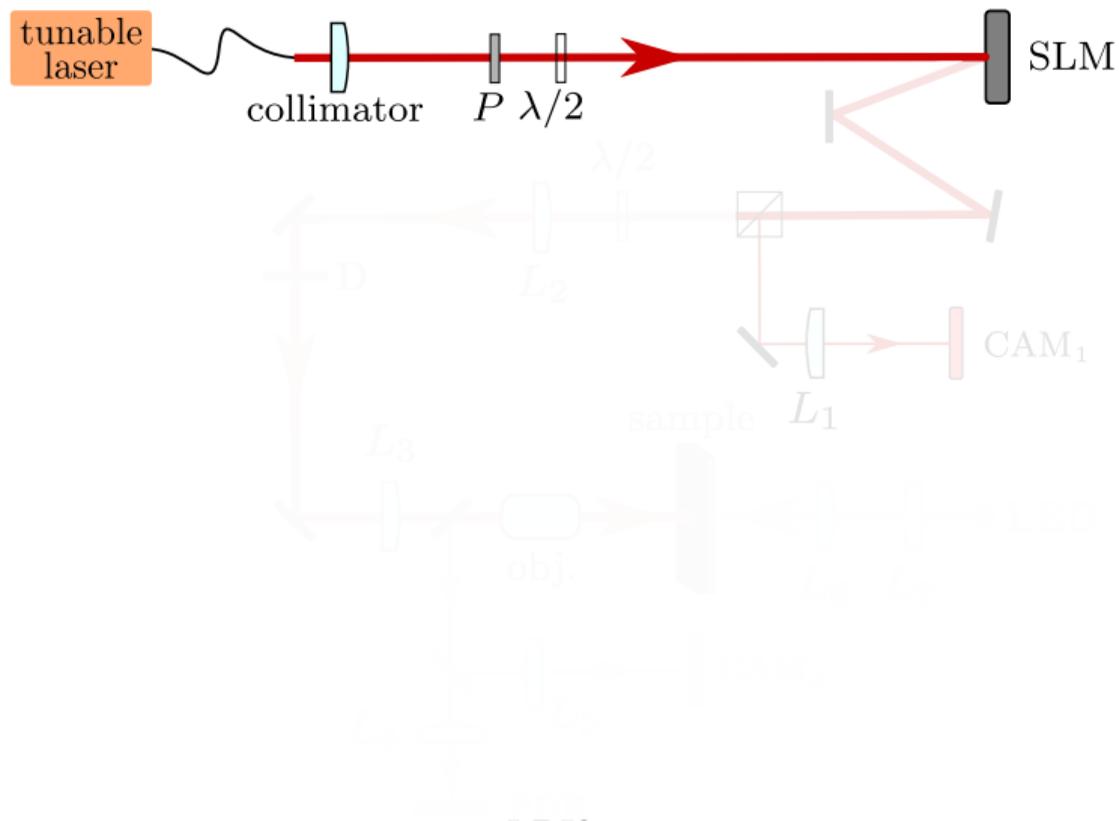
Une référence bien connue depuis 1999¹

Une formulation alternative proposée en 2013²

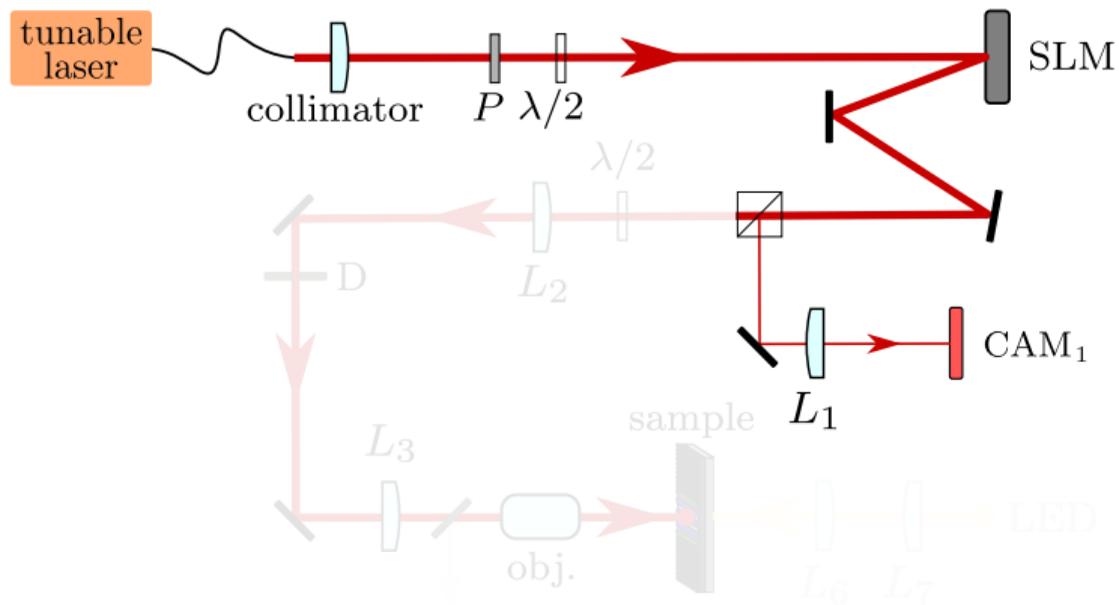
Et une grande confusion en 2016³

Nos calculs reconcilient les résultats antérieurs⁴

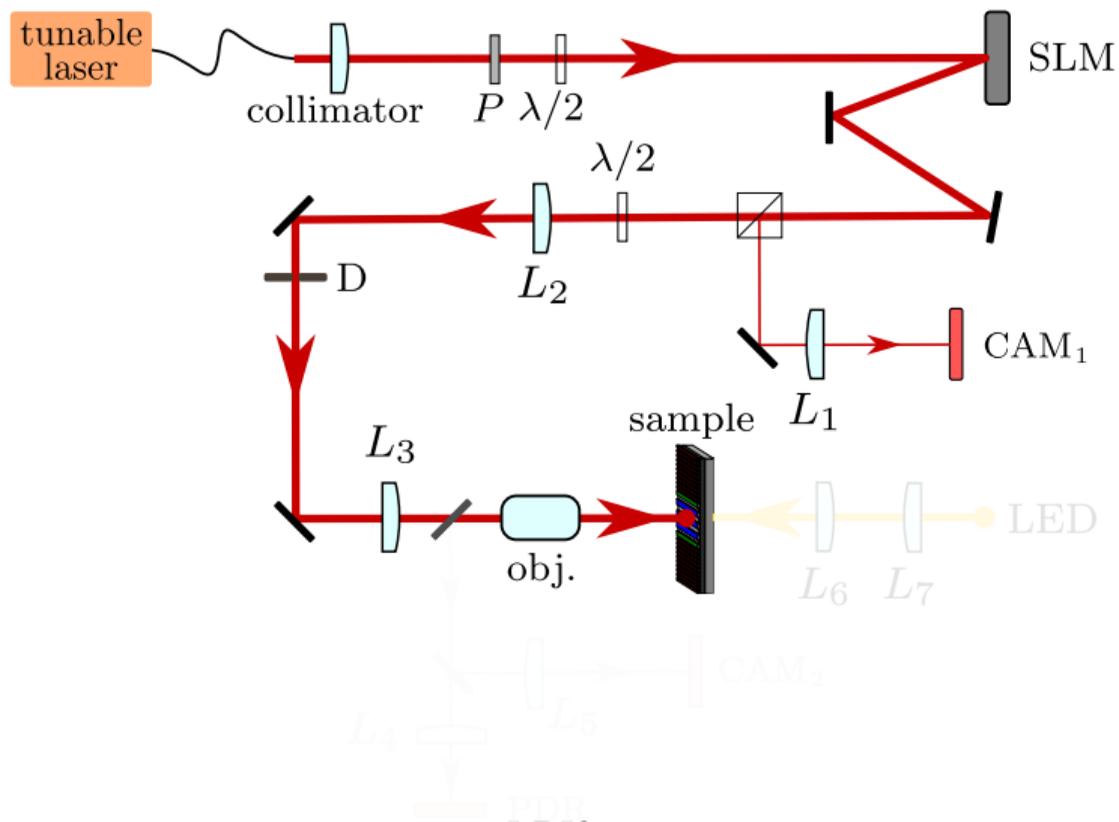
Dispositif expérimental



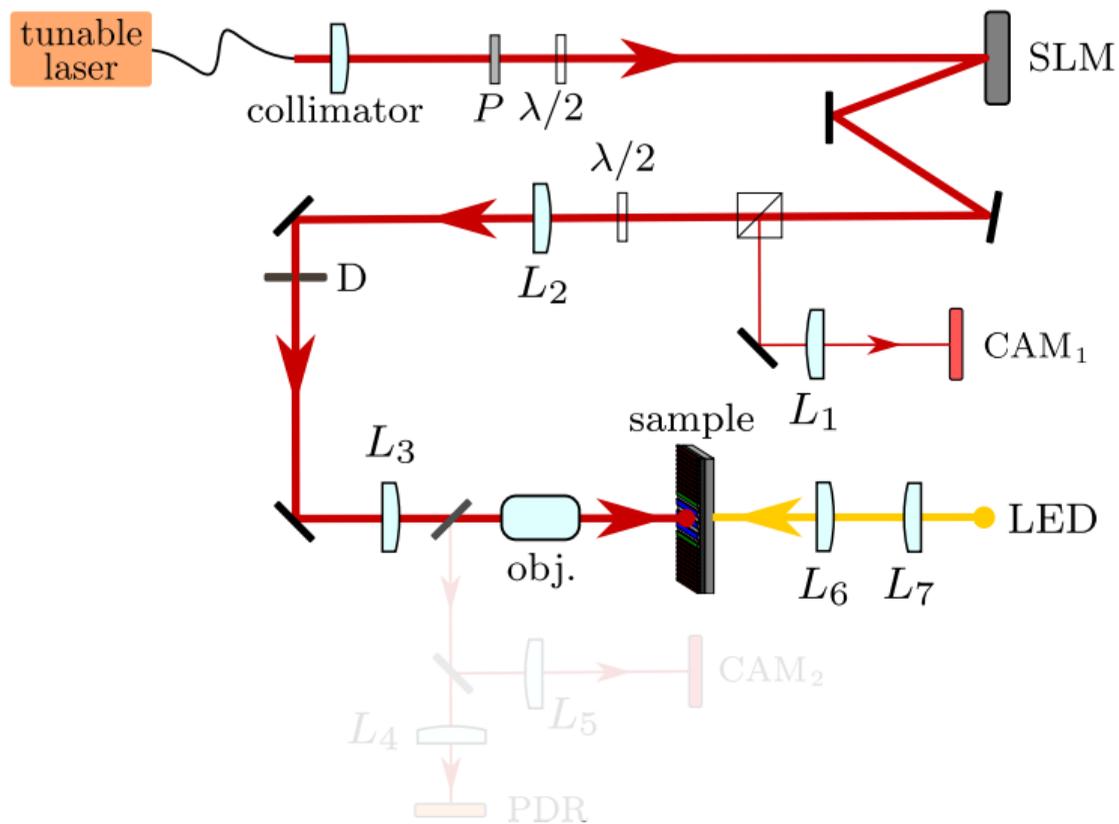
Dispositif expérimental



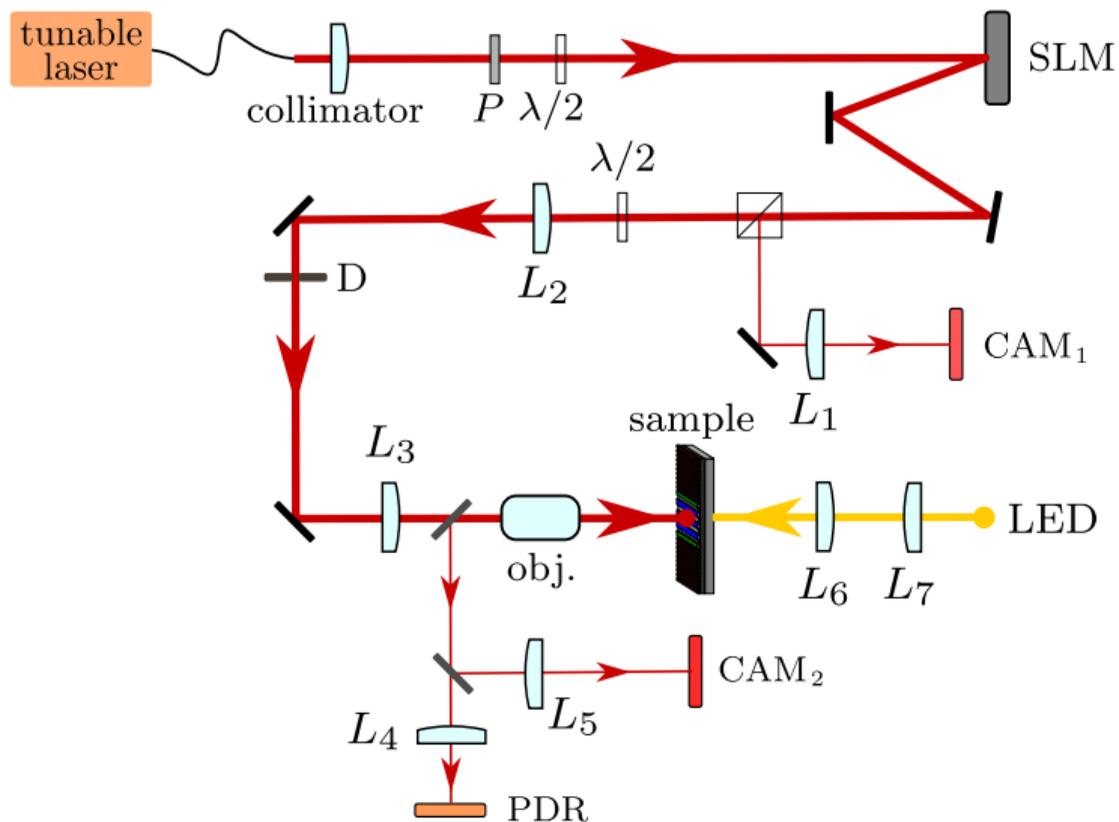
Dispositif expérimental



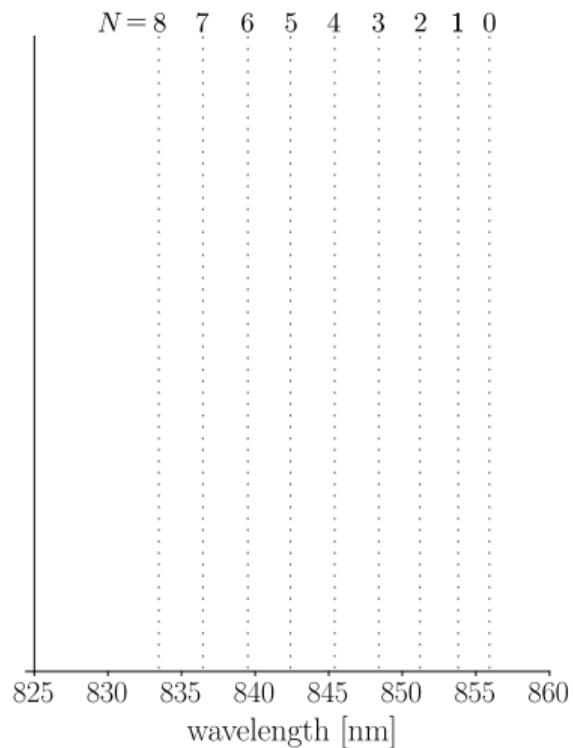
Dispositif expérimental



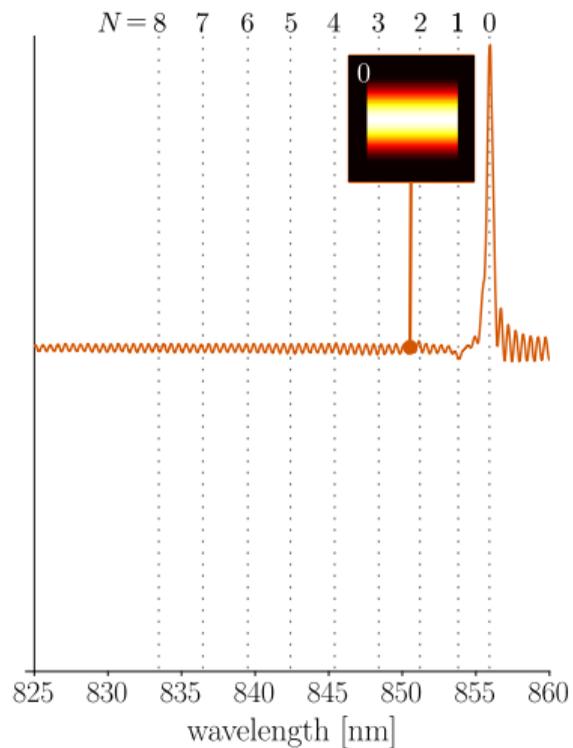
Dispositif expérimental



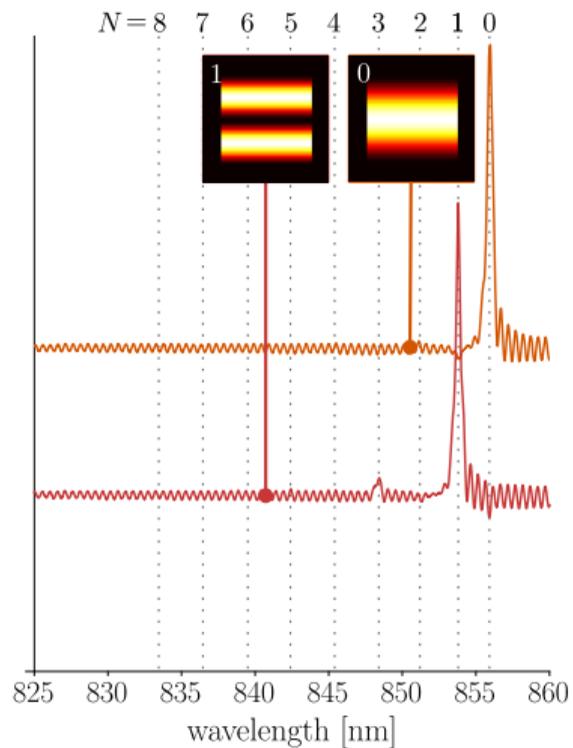
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



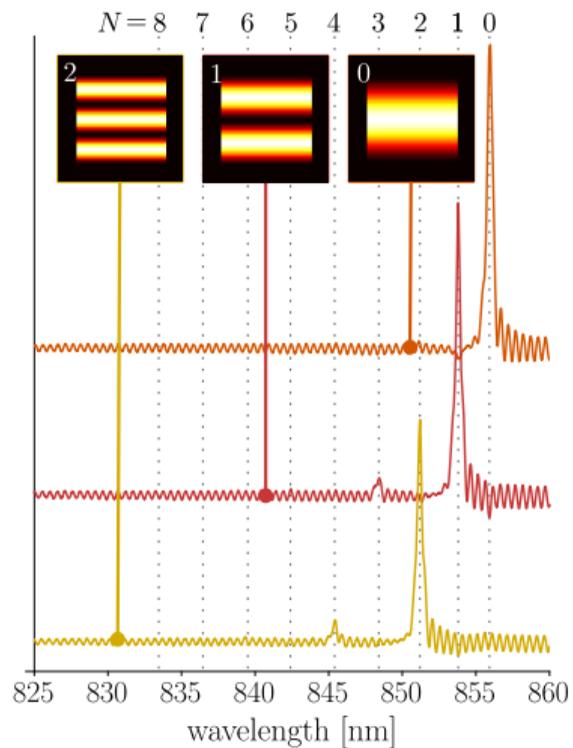
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



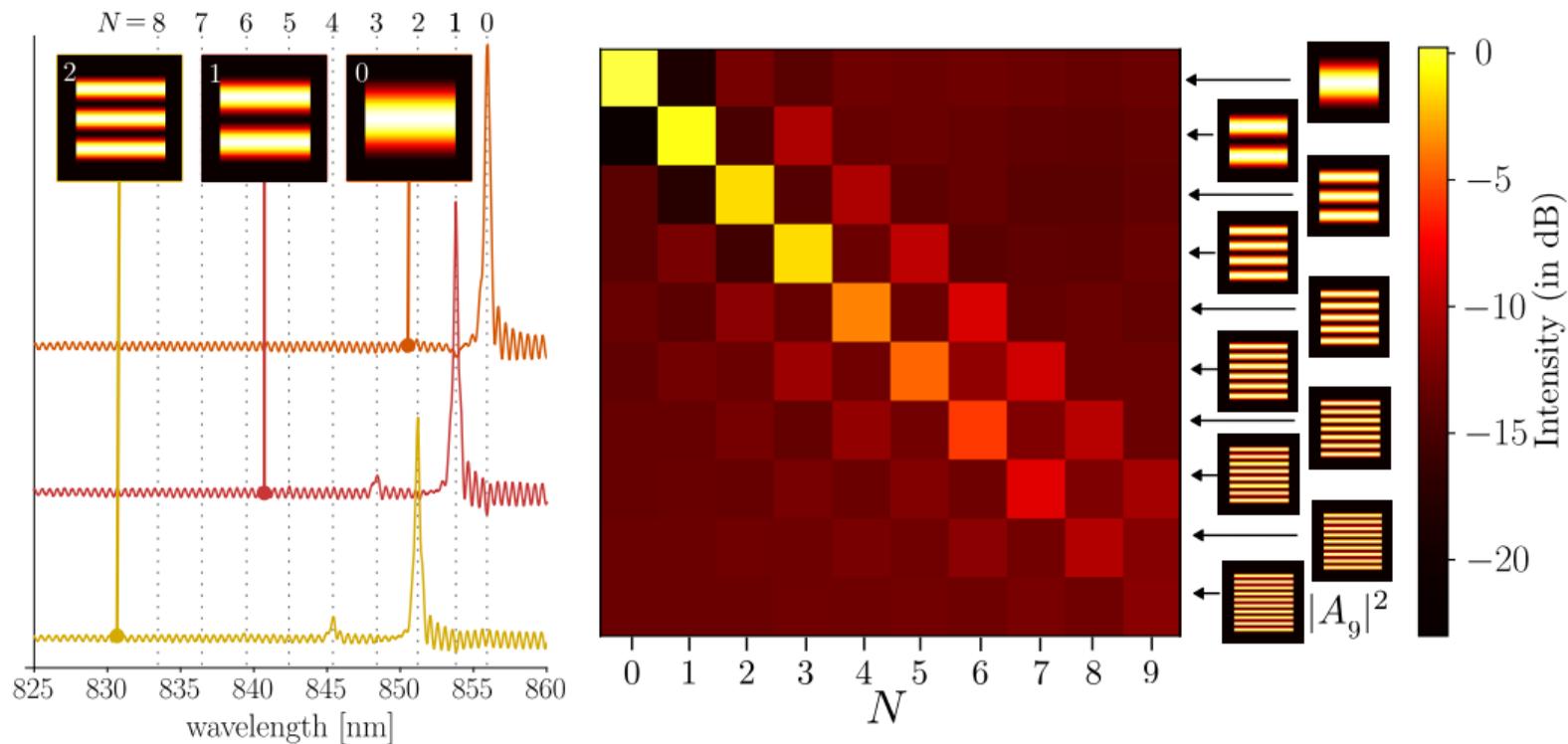
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



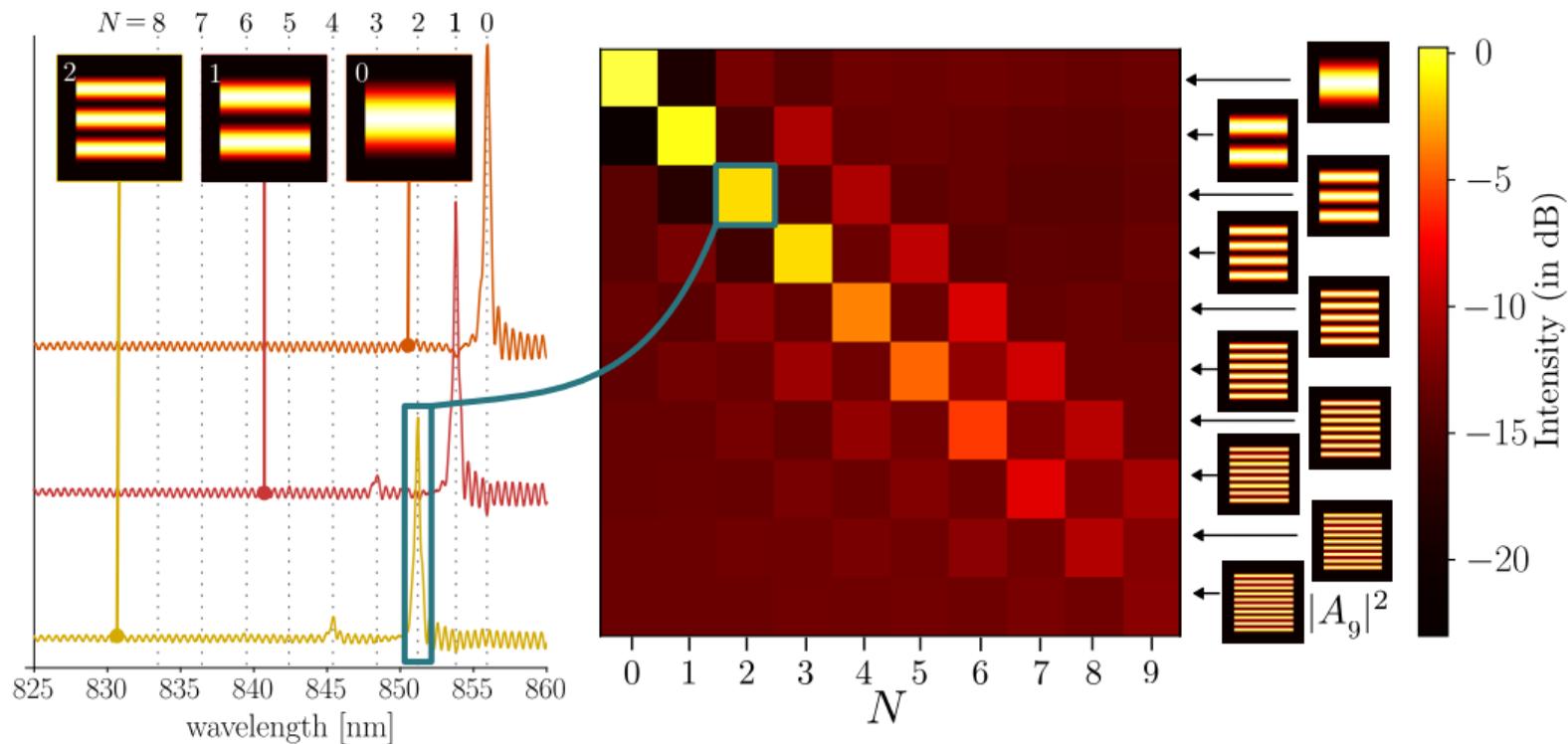
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



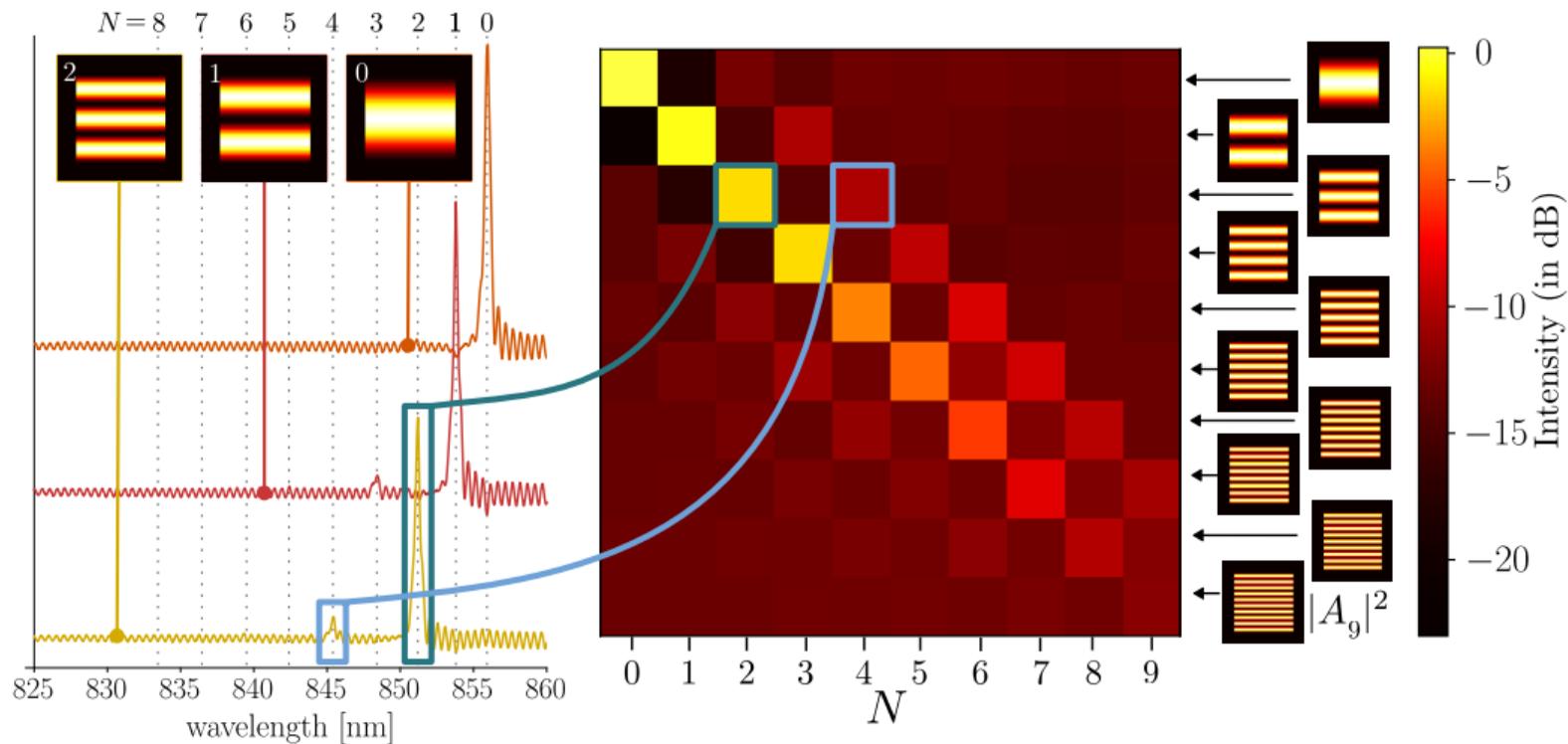
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



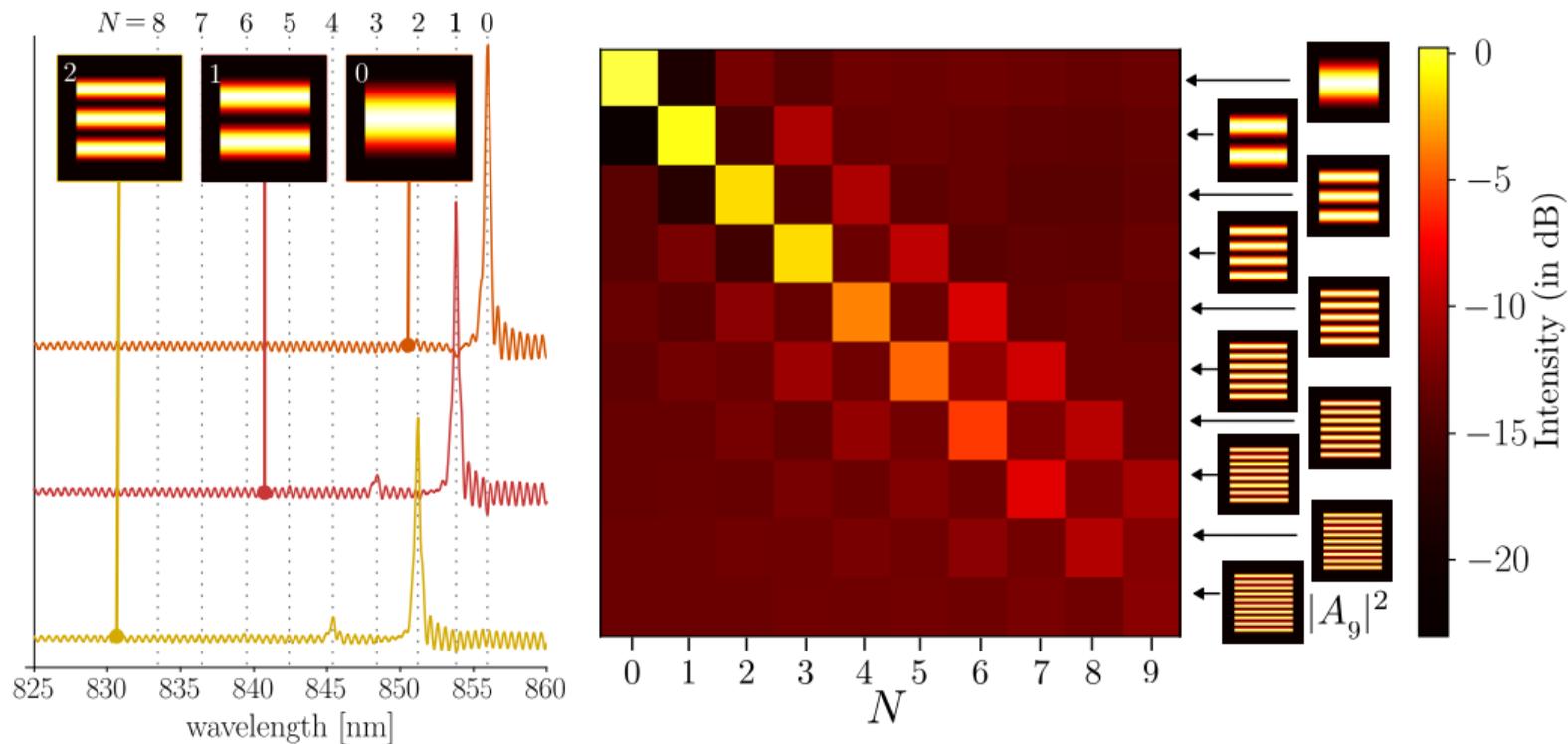
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



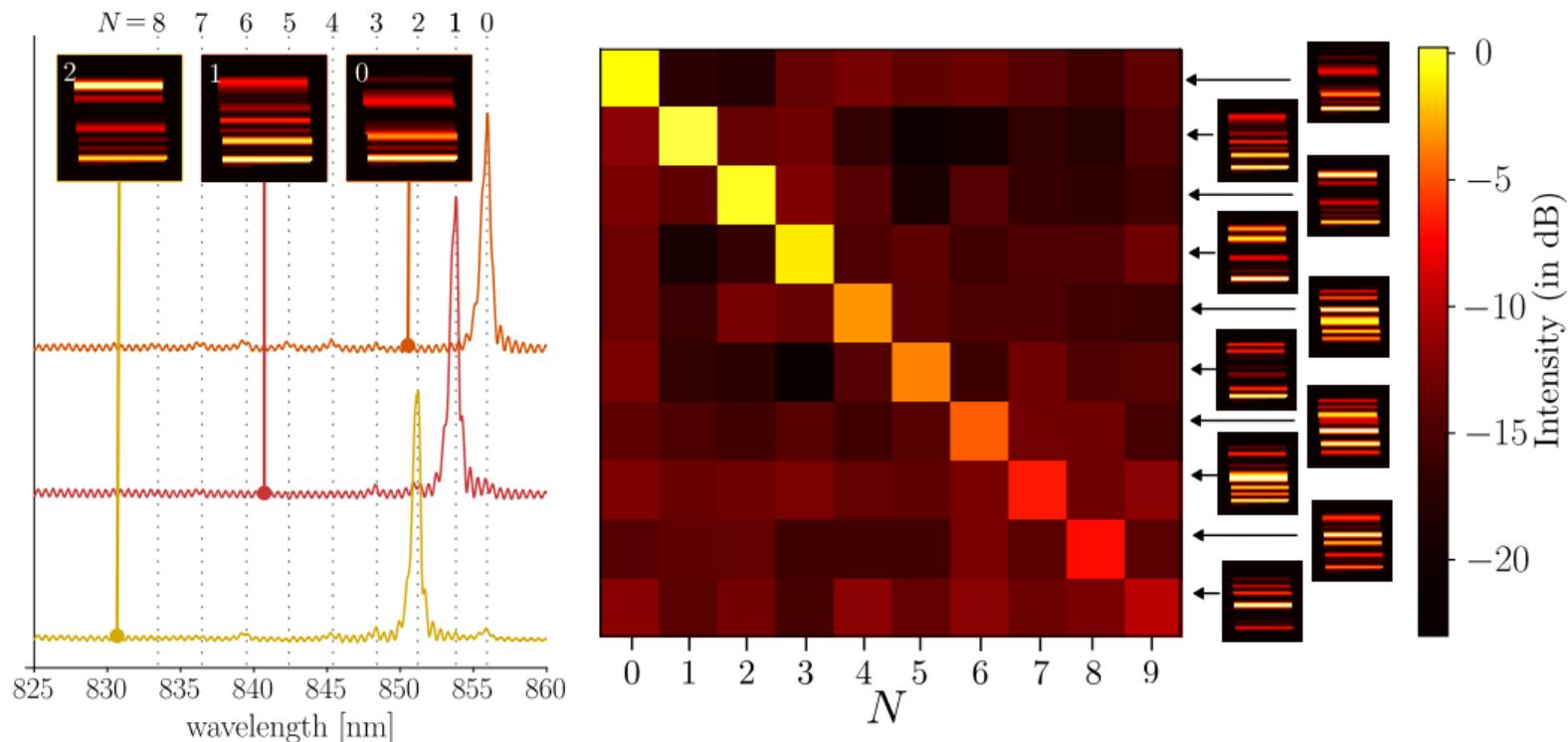
Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g



Excitation sélective 1D avec les profils théoriques A_g

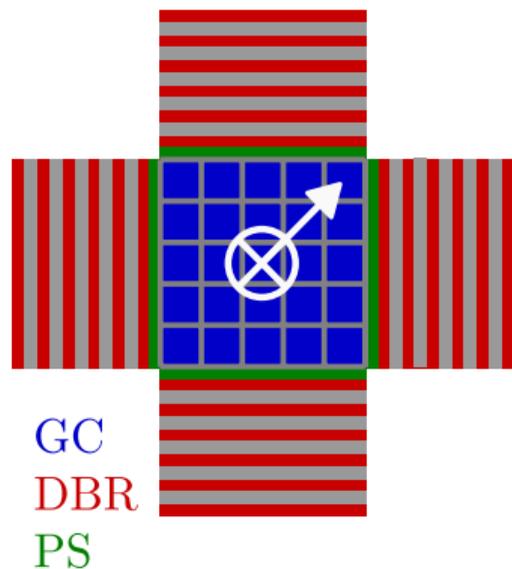


Excitation sélective 1D avec les profils optimisés $\sum_g c_g A_g$

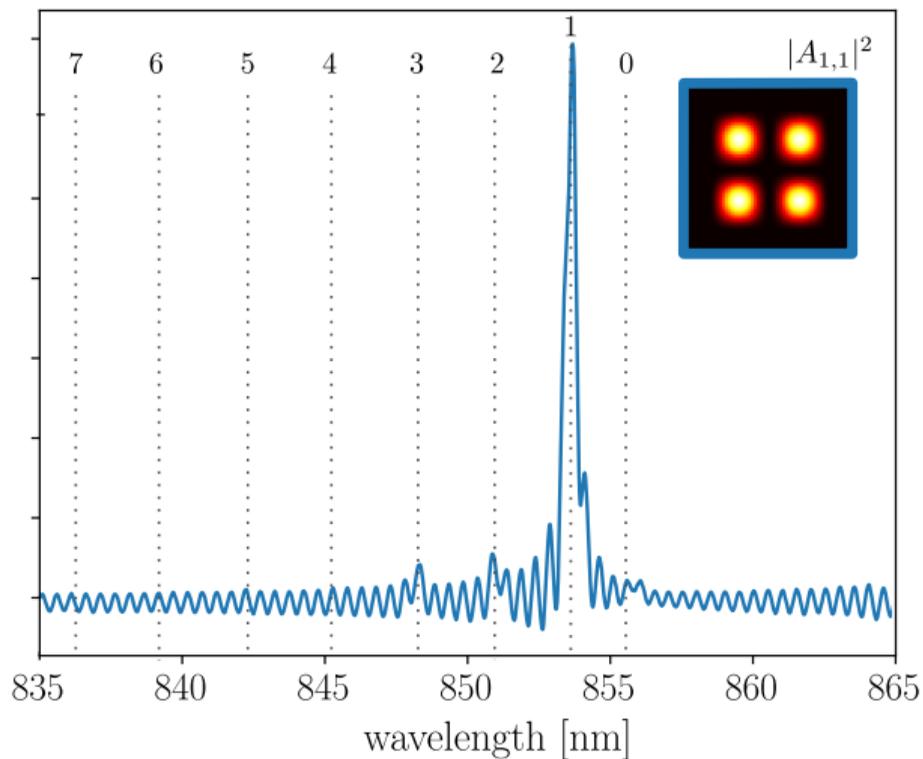
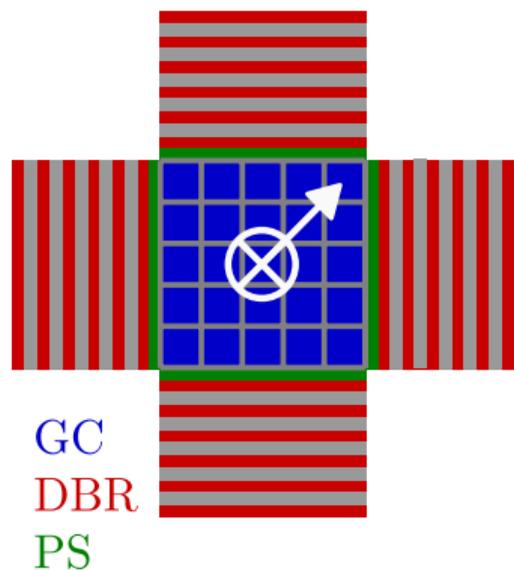


Gain médian +3,4 dB

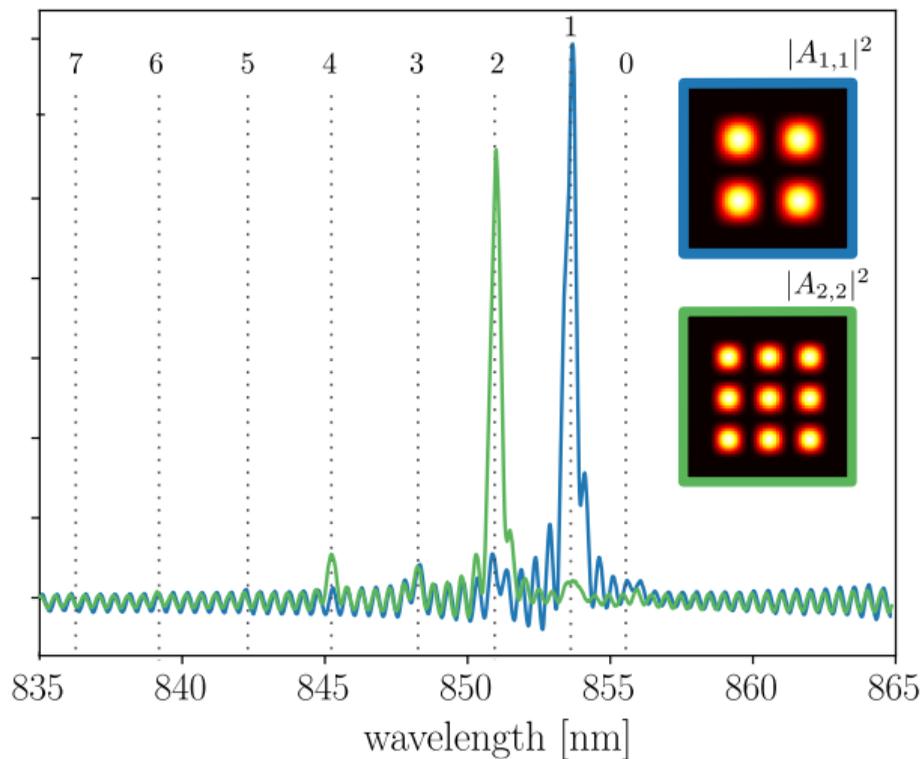
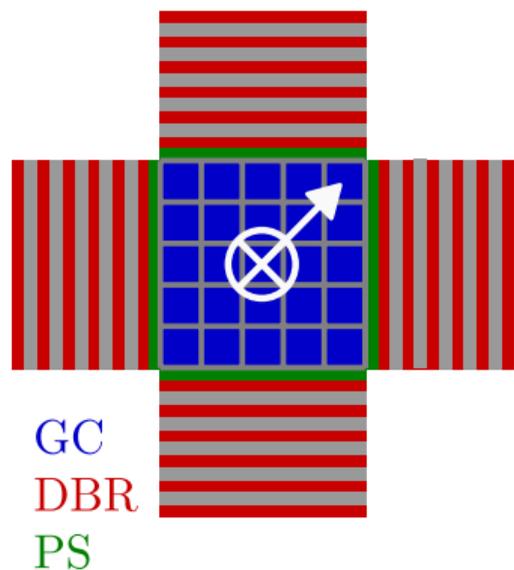
Excitation sélective en 2D



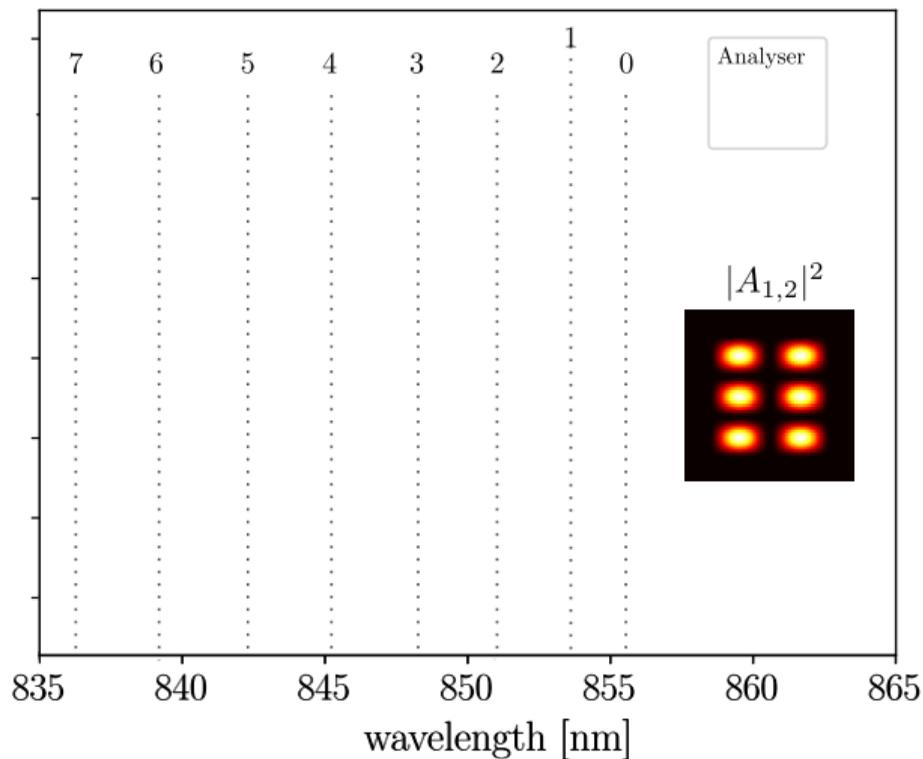
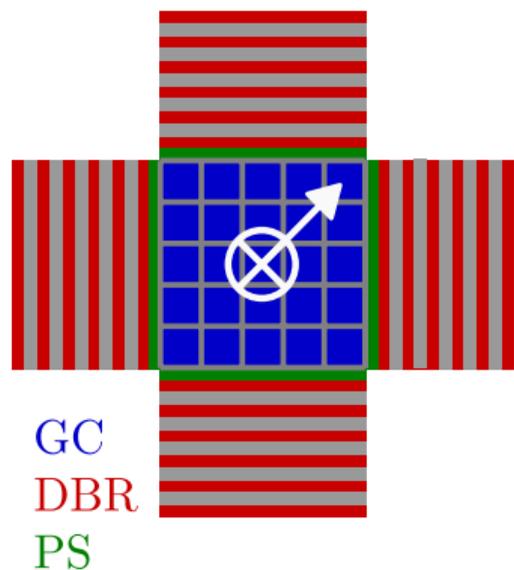
Excitation sélective en 2D



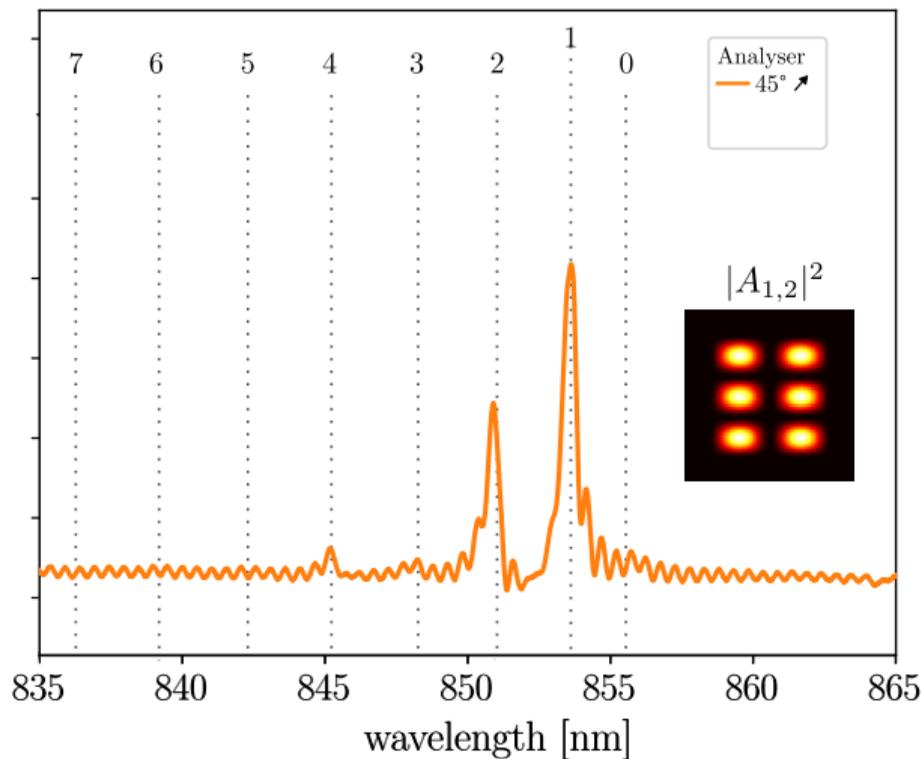
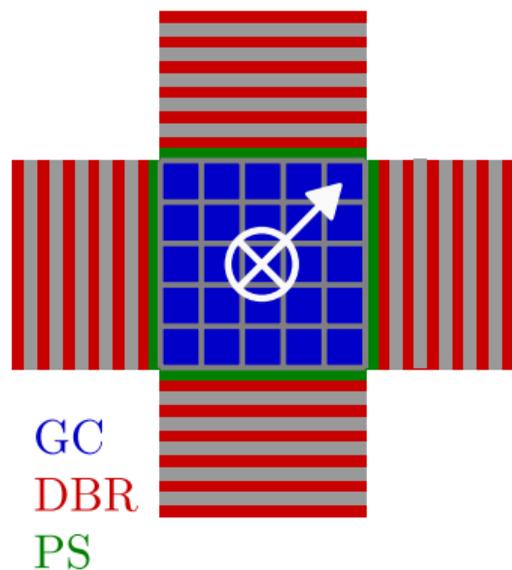
Excitation sélective en 2D



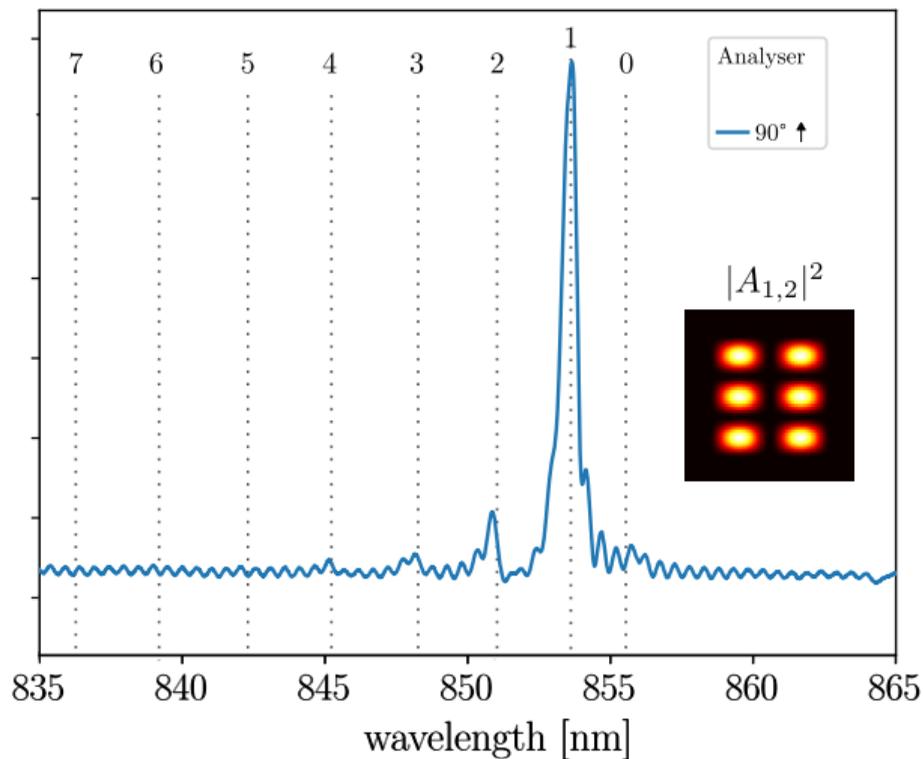
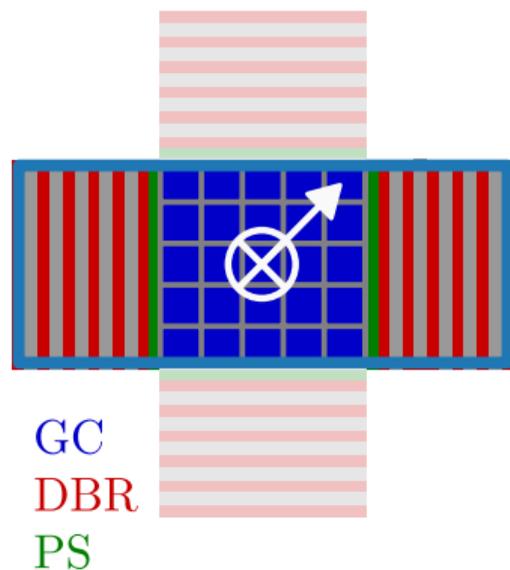
Excitation sélective en 2D



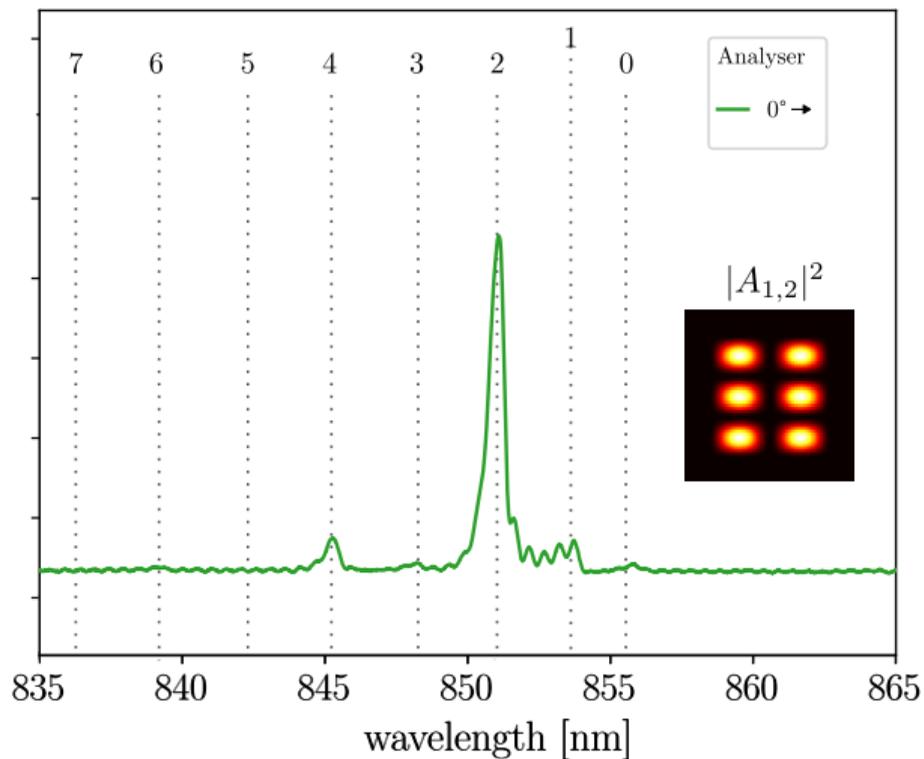
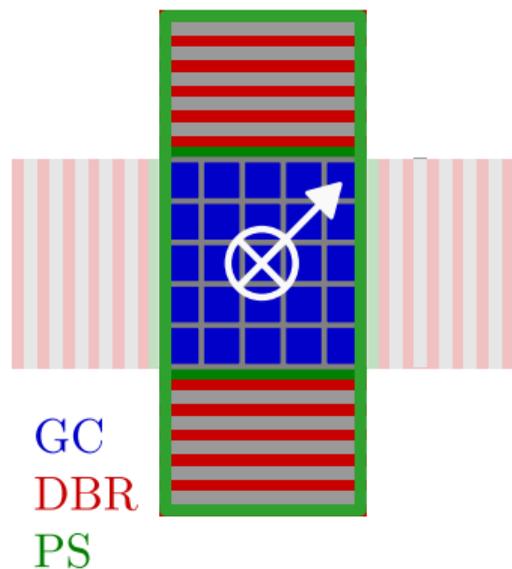
Excitation sélective en 2D



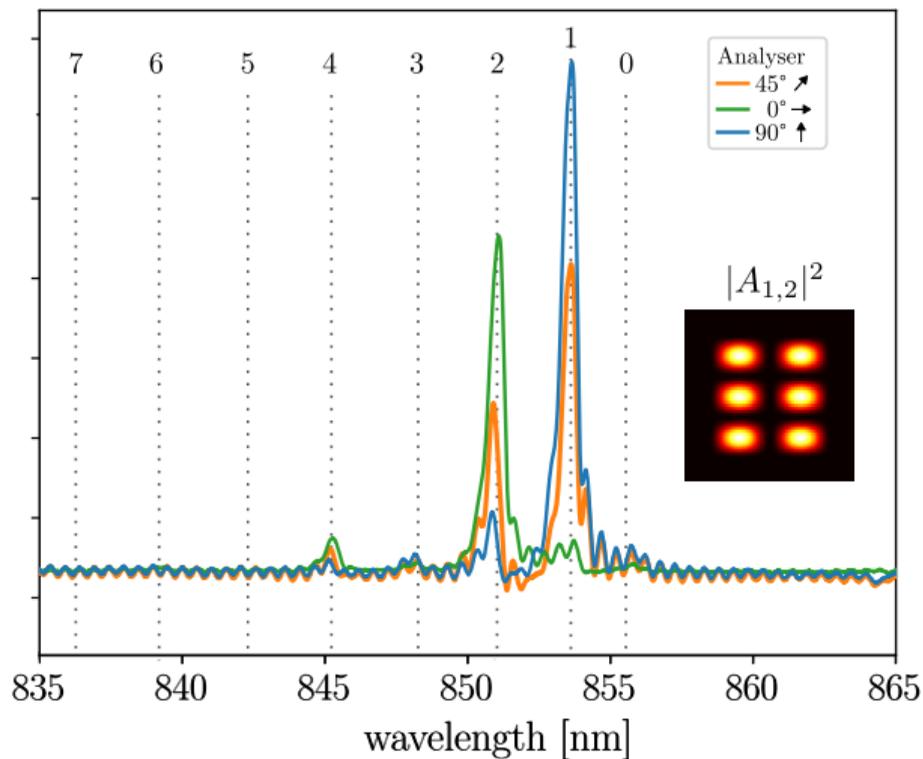
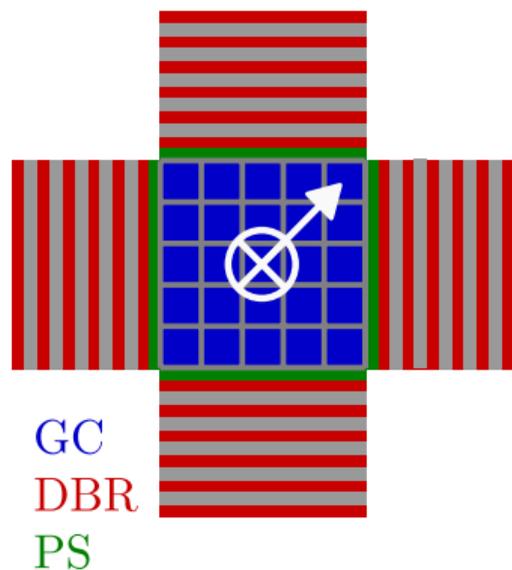
Excitation sélective en 2D



Excitation sélective en 2D



Excitation sélective en 2D



Excitation sélective 1D & 2D de modes d'ordre élevé dans des CRIGFs

Avec des faisceaux façonnés : <https://github.com/a-rouxel/beamshapy>

Profils théoriques et optimisés

Excitation sélective 1D & 2D de modes d'ordre élevé dans des CRIGFs

Avec des faisceaux façonnés : <https://github.com/a-rouxel/beamshapy>

Profils théoriques et optimisés

Contrôle modal

Réflecteurs, filtres et coupleurs sélectifs spatialement et spectralement

Excitation sélective 1D & 2D de modes d'ordre élevé dans des CRIGFs

Avec des faisceaux façonnés : <https://github.com/a-rouxel/beamshapy>
Profils théoriques et optimisés

Contrôle modal

Réflecteurs, filtres et coupleurs sélectifs spatialement et spectralement

Excitation bi-mode de CRIGFs non-linéaires

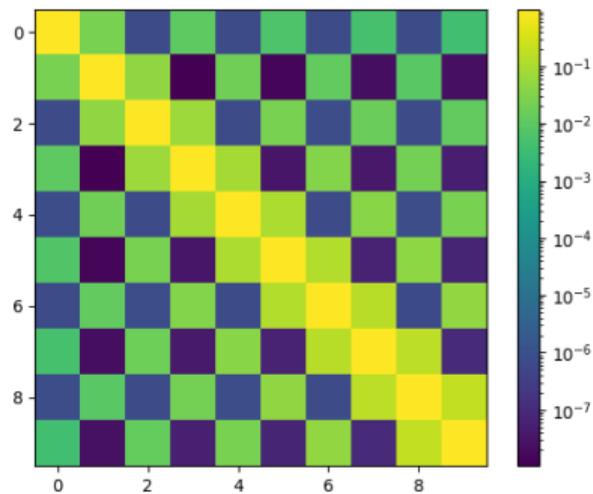
De la SHG à la SFM, DFG, SPDC, ...
Photons jumeaux ?

Merci pour votre attention !

Questions ?

Des erreurs de profils théoriques

Centrage du profil



Largeur du profil

