

Les sources de lumière ultra-cohérentes

Jean-François Bisson

Département de physique et d'astronomie

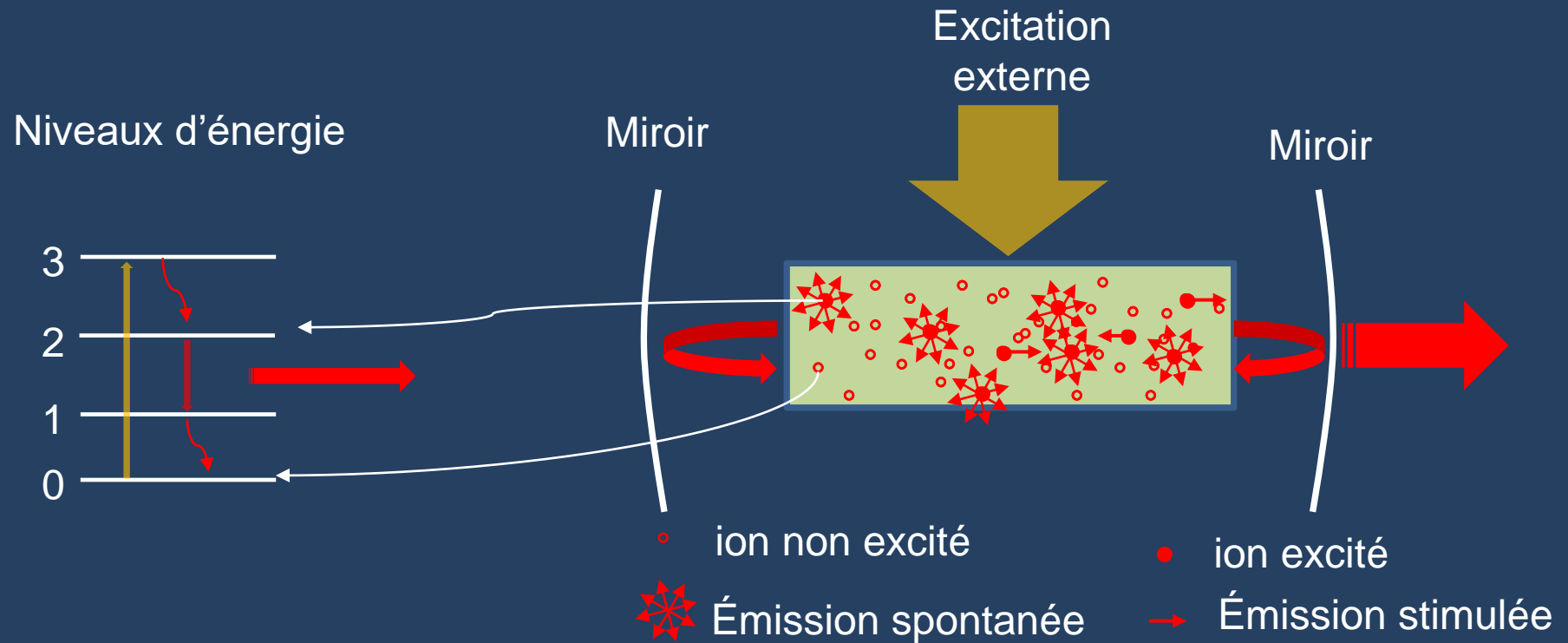
Université de Moncton

Conférence de vulgarisation

10 mars 2021

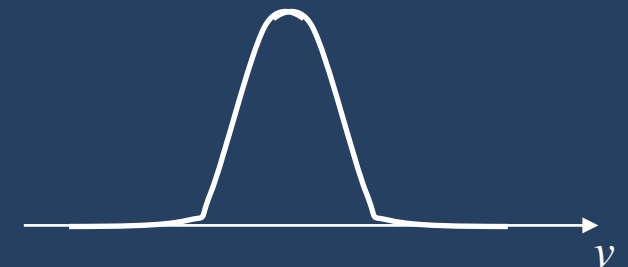
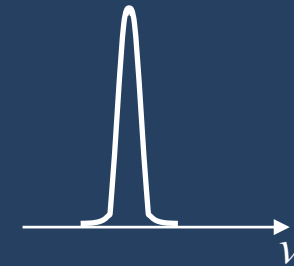
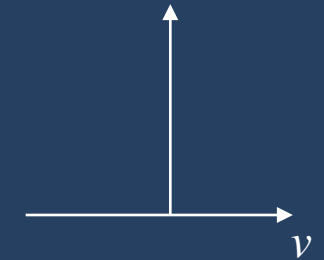
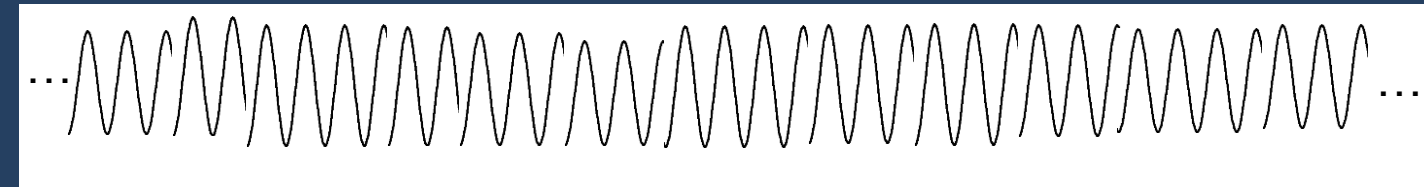
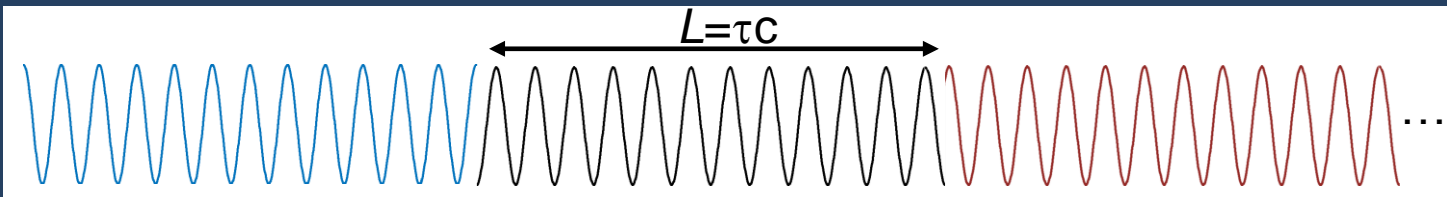
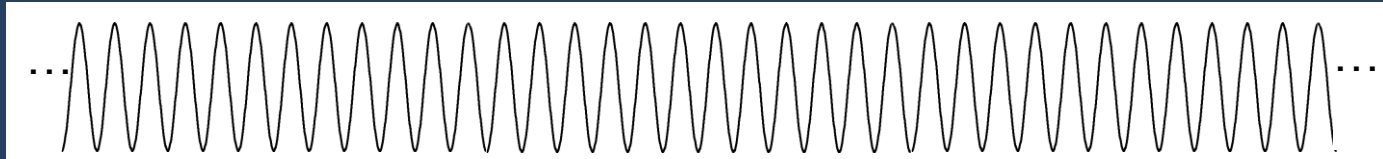


Le laser: une source de lumière cohérente

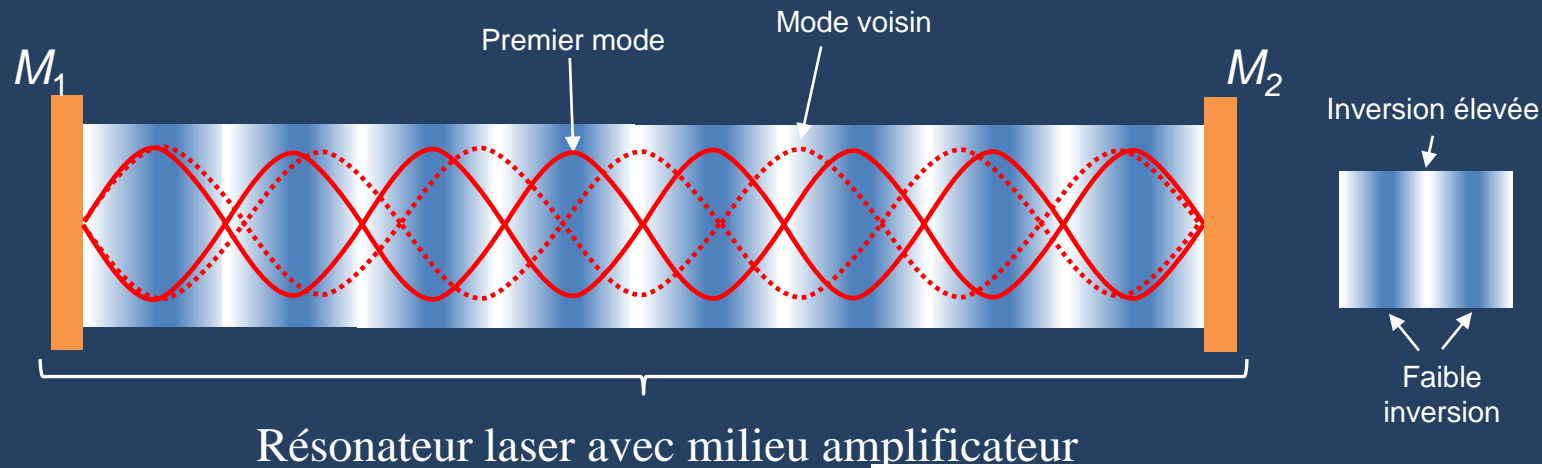


Qu'est-ce que la cohérence?

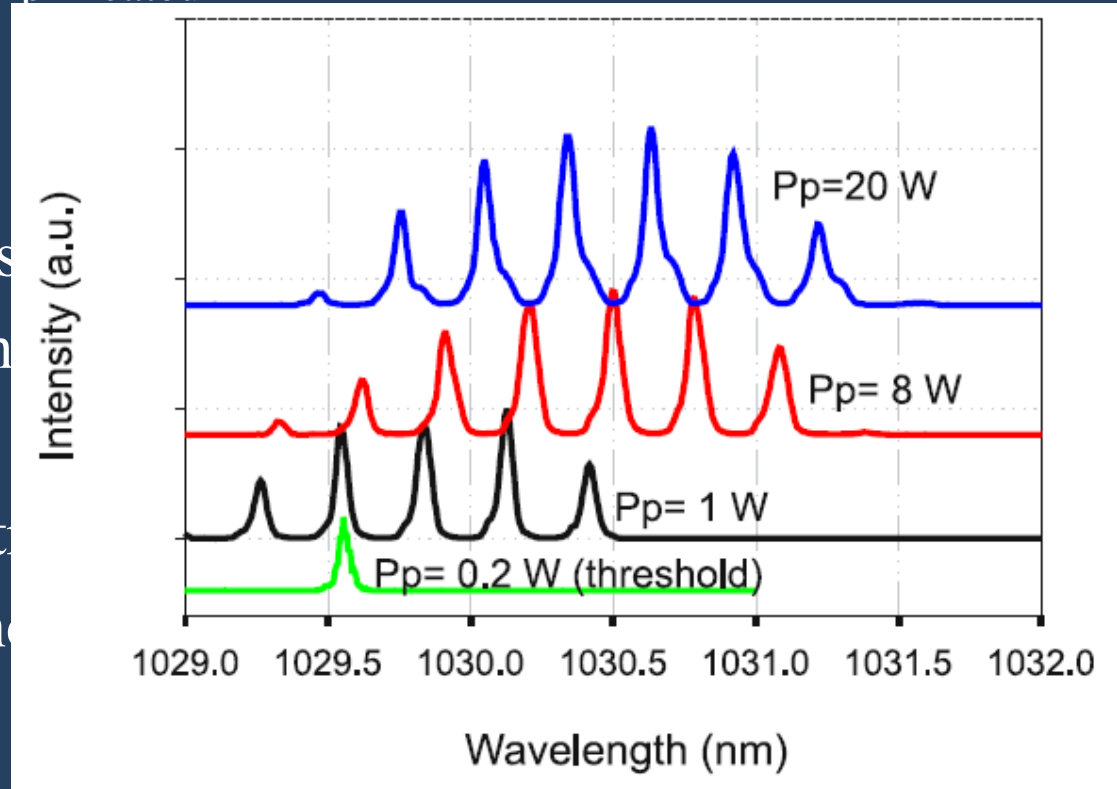
Un faisceau de lumière est dit cohérent s'il y a une relation de phase fixe entre différents points du faisceau ou à différents instants



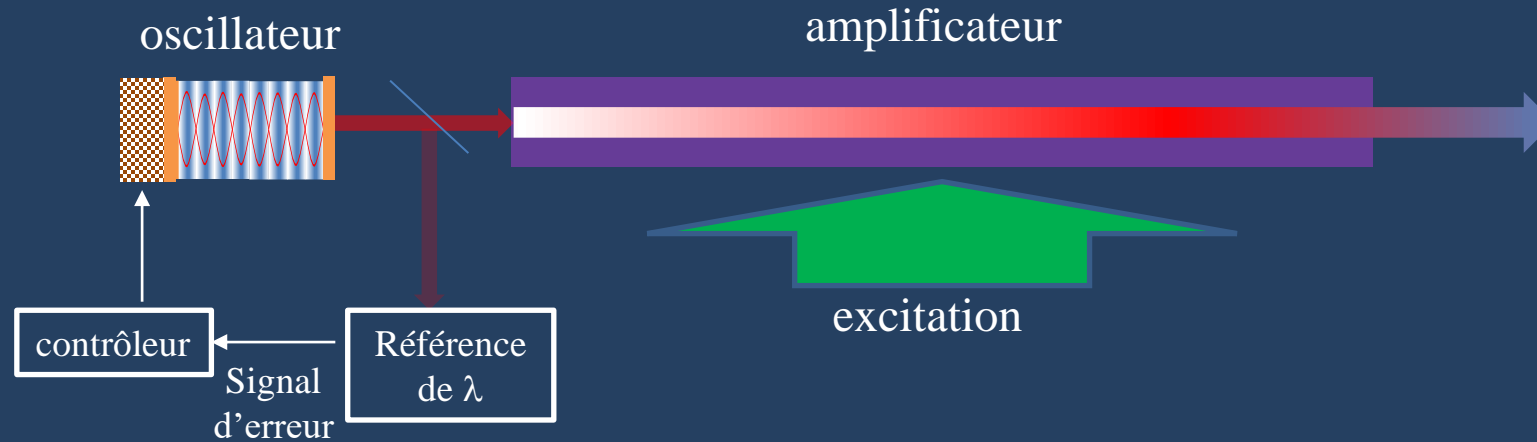
L'émission est un phénomène résonnant



- Établissement d'une onde stationnaire
- Présence de nœuds et des ventres:
 - Ventres => haute intensité => haut taux d'émission
 - Nœuds => intensité nulle => aucune émission
- Les zones où l'inversion demeure élevée peuvent être exploitées pour:
 - => émission à plusieurs fréquences

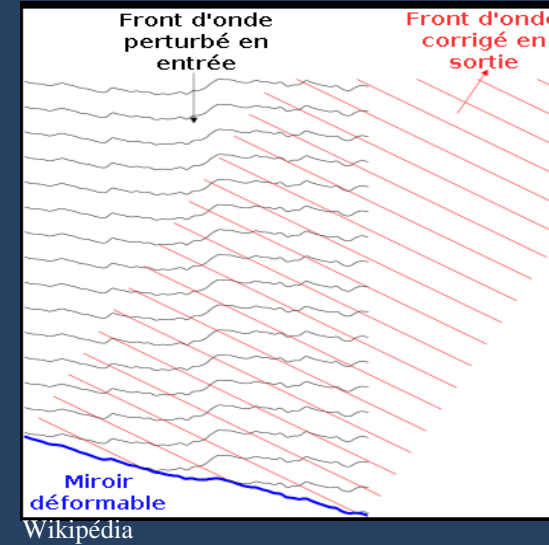
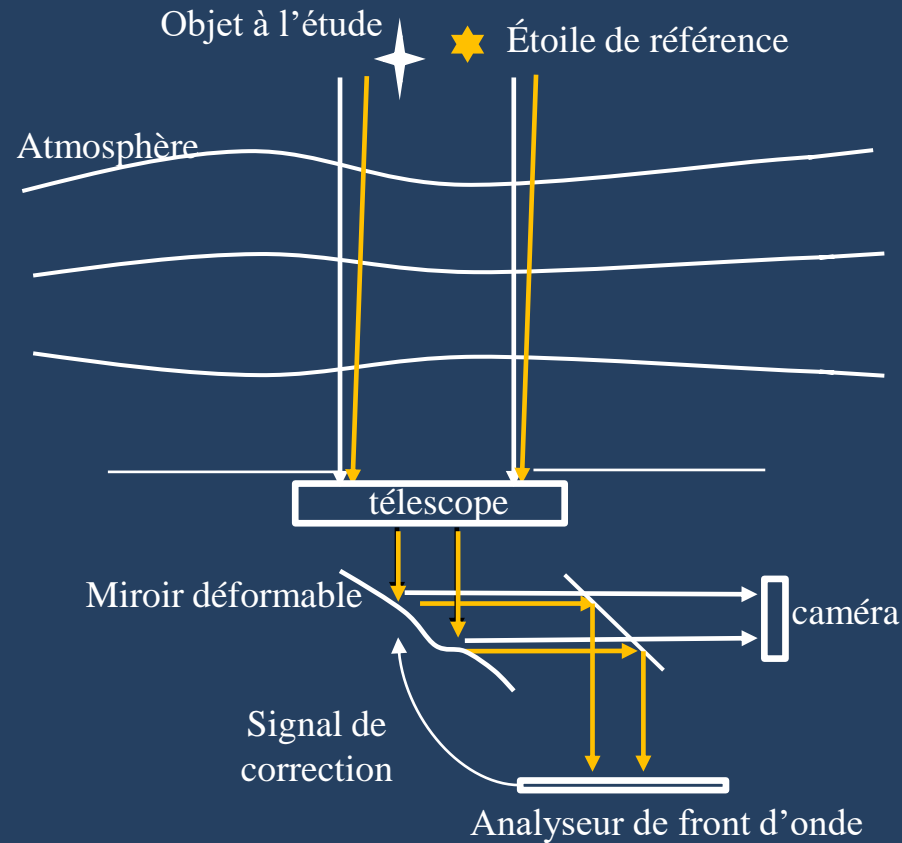
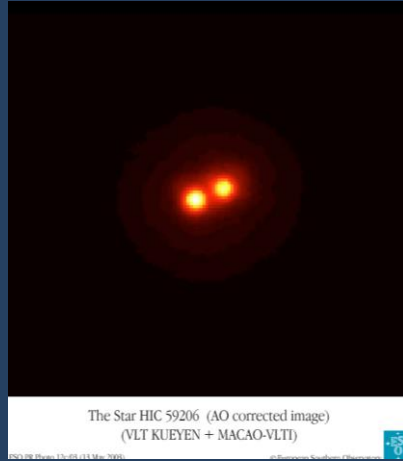
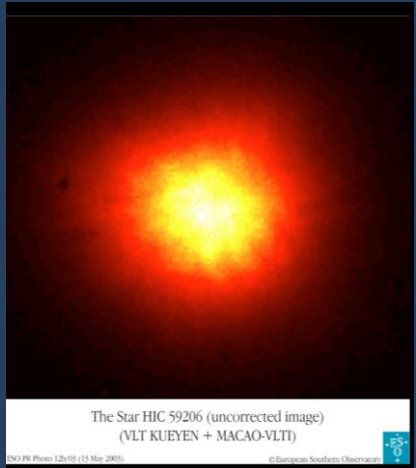


L'oscillateur maître - amplificateur de puissance



- L'oscillateur émet à une seule fréquence mais avec une puissance basse.
- Le faisceau amplifié garde intactes la forme du faisceau et sa fréquence.
- Contrôle de la longueur de l'oscillateur nécessaire

L'optique adaptative pour l'observation astronomique



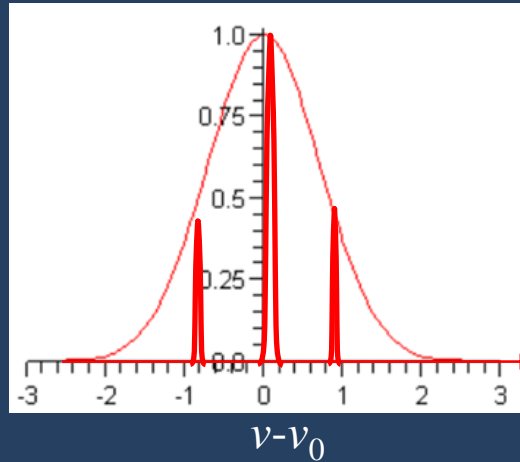
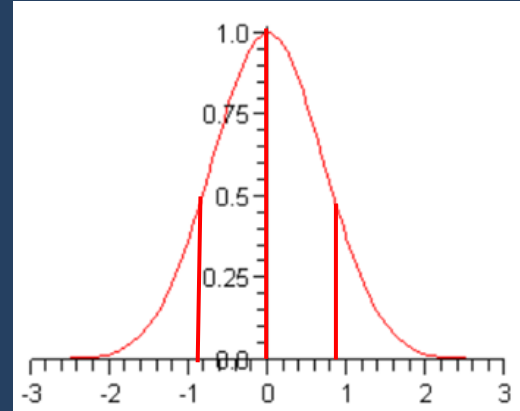
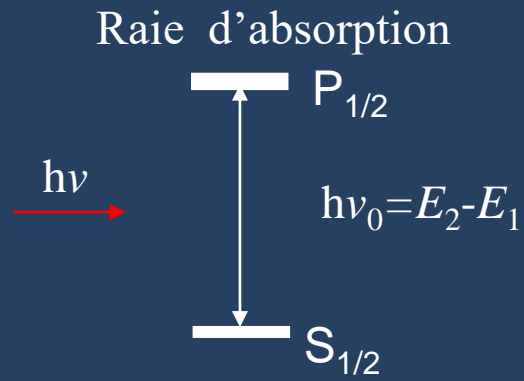
Les étoiles guides artificielles

- Un laser excite des atomes de sodium dans la haute atmosphère.
- Une partie de la lumière réémise est captée par le télescope.
- La couche de sodium:
 - 100-1000 atomes/cm³ à une altitude ~90-100 km
 - Bande d'absorption étroite à $\lambda=589$ nm
 - Laser: $P=50$ W avec $\Delta\nu = 2-3$ MHz ($\Delta\nu/\nu = 5$ ppb) avec un front d'onde presque parfait.



Laser de 20 W (Iles Canaries)

Effet Doppler utilisé pour la thermométrie



L'absorption se produit pour $\nu > \nu_0$

L'absorption se produit pour $\nu < \nu_0$

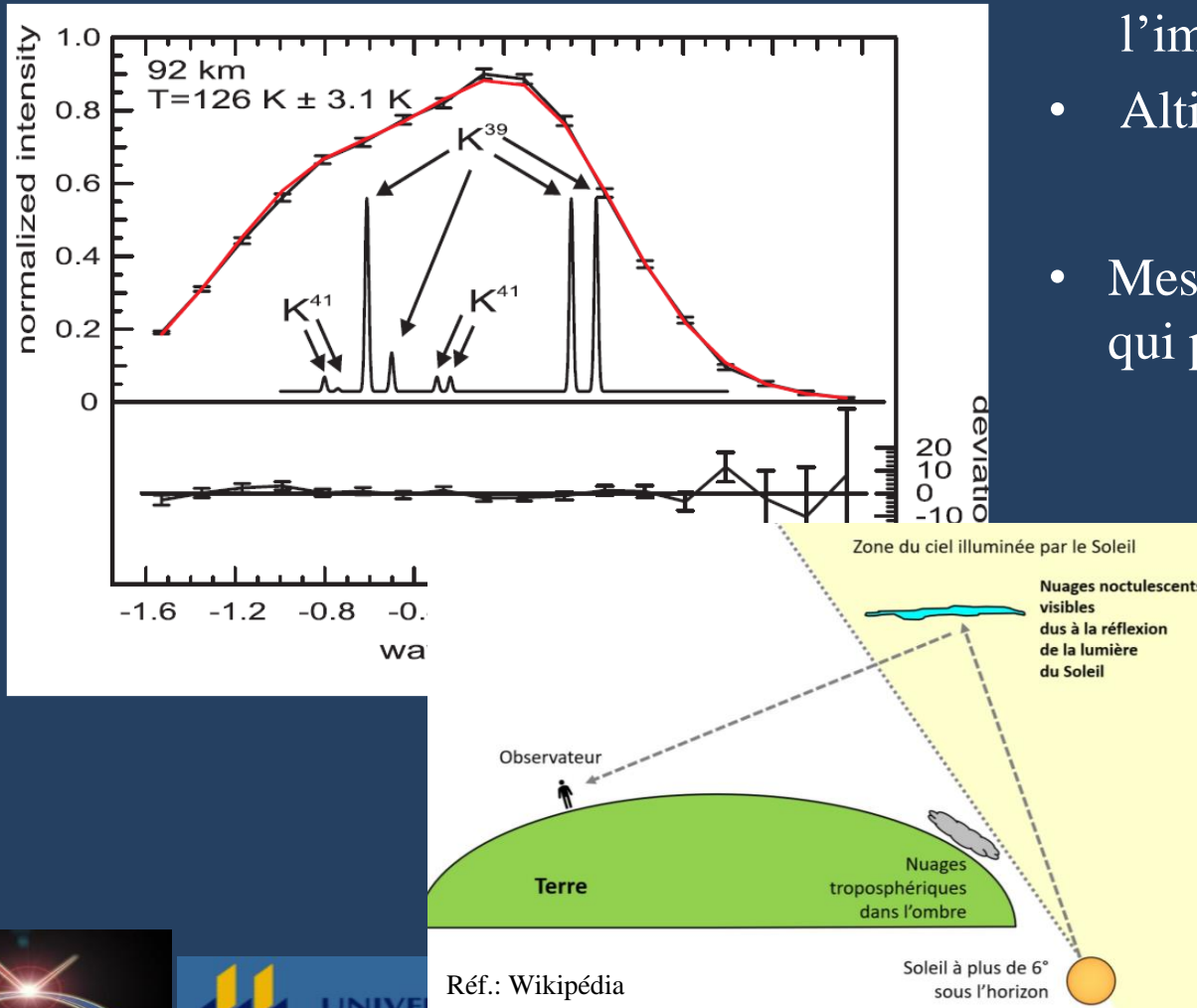
Mesures de température en haute atmosphère

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, D20114, doi:10.1029/2007JD008612, 2007

Potassium lidar temperatures and densities in the mesopause region at Spitsbergen (78°N)

J. Höffner¹ and F.-J. Lübken¹

Received 5 March 2007; revised 14 June 2007; accepted 20 July 2007; published 25 October 2007.



- Laser ajustable en longueur d'onde (précision 1 MHz)
- Utilisation d'un laser pulsé
- La résolution en altitude est fournie par le temps de vol de l'impulsion aller-retour.
- Altitude $\approx 92 \text{ km}$
- Mesures affectées par des nanocristaux de glace (ex. H_2O), qui portent le nom de **nuages noctulescents**

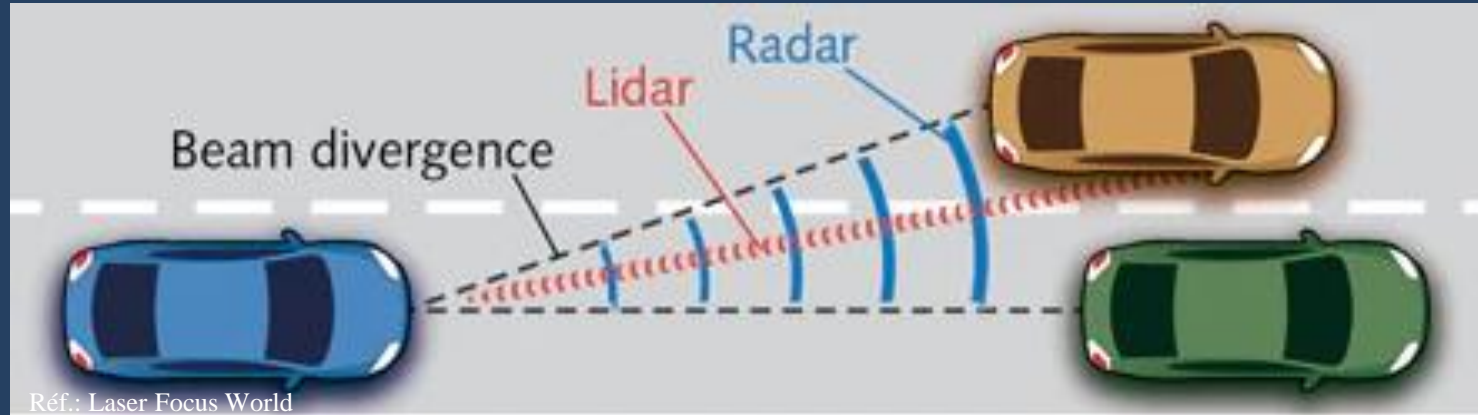


Réf.: Wikipédia

Soleil à plus de 6°
sous l'horizon

Les LiDARs dans les véhicules autonomes

Technique utilisant les lasers pour mesurer la distance et la vitesse des objets.



RaDAR: Radio Detection and Ranging => Ondes radio ($\sim 1 \text{ mm-cm}$)

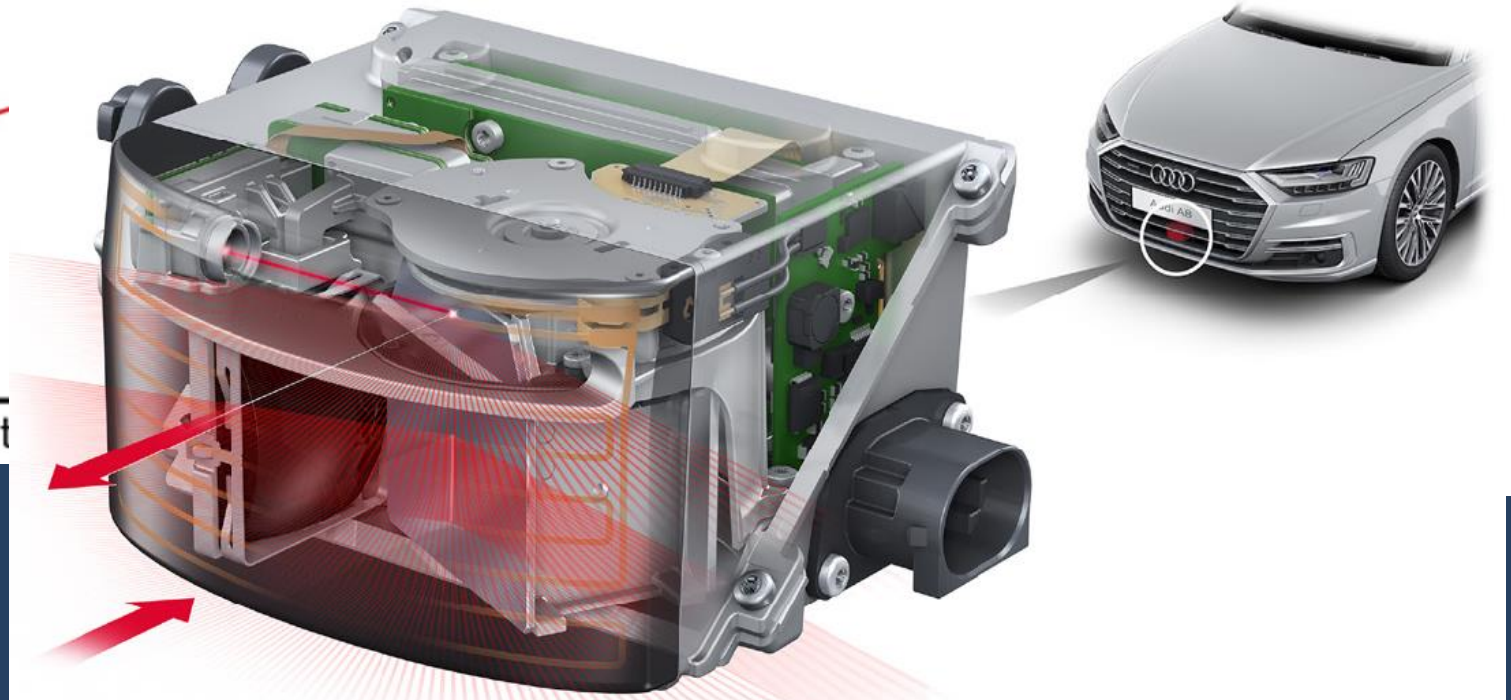
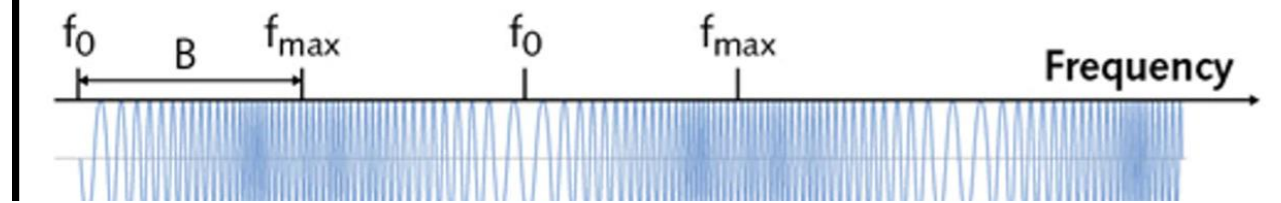
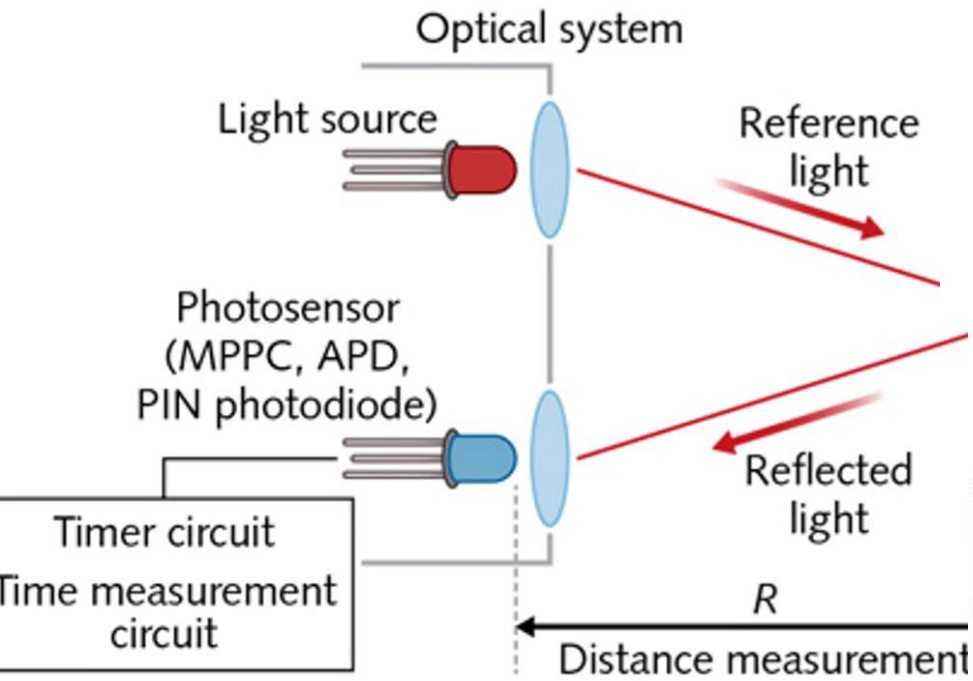
LiDAR: Light Detection and Ranging => domaine visible ou infrarouge ($\sim 1 \mu\text{m}$)



Mesures de distance et de vitesse avec les LiDARs

Mesures par temps de vol
(laser pulsé)

Mesures de battement
(laser continu)



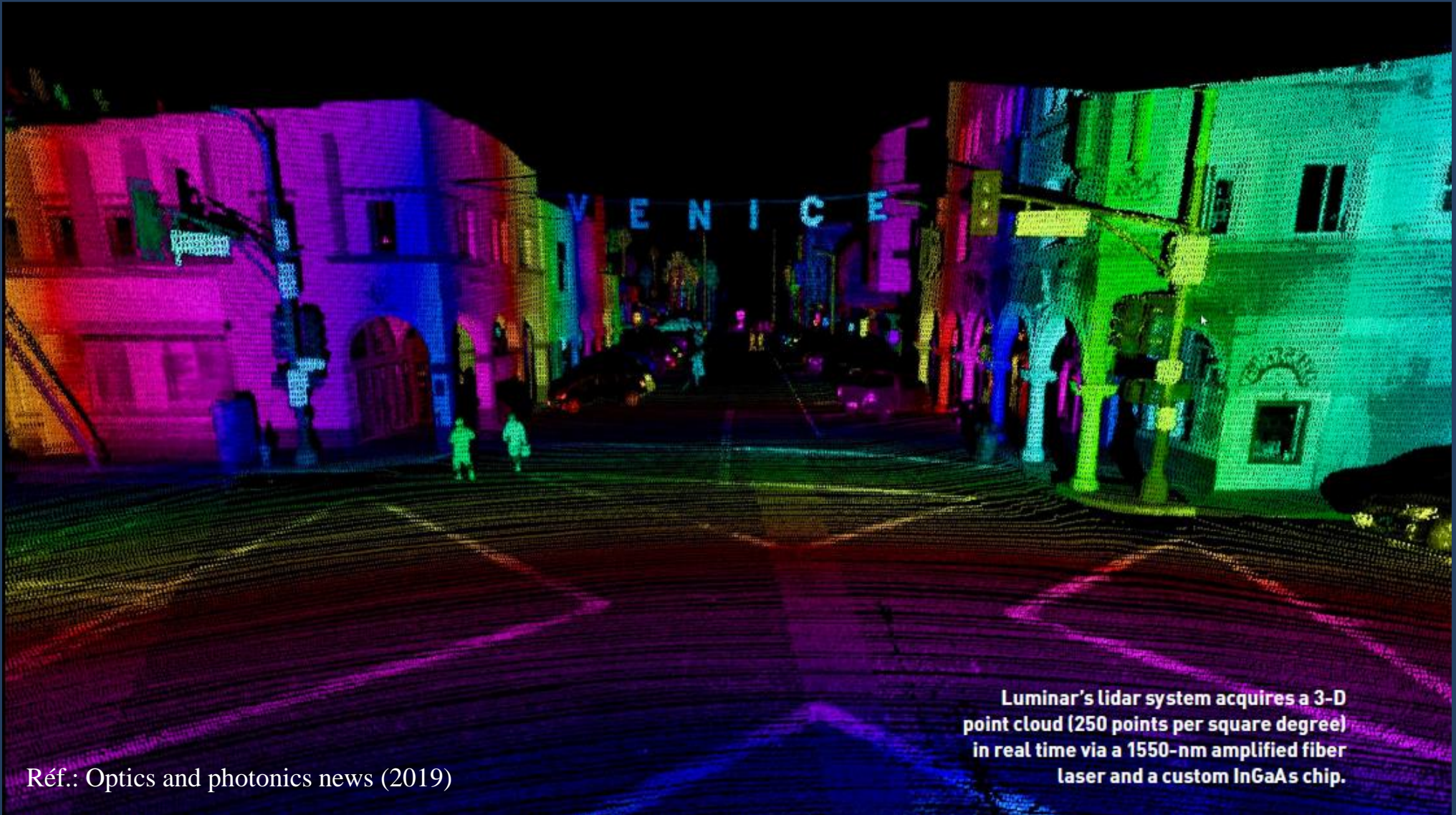
Réf.: Optics and photonics news (2019)

Audi's laser scanner is built into the front bumper of the 2019 Model A8. The system uses a rotating mirror at 750 rpm to scan an eye-safe 1550-nm

Réf.: Laser Focus World



Les LiDARs pour les véhicules autonomes (suite)

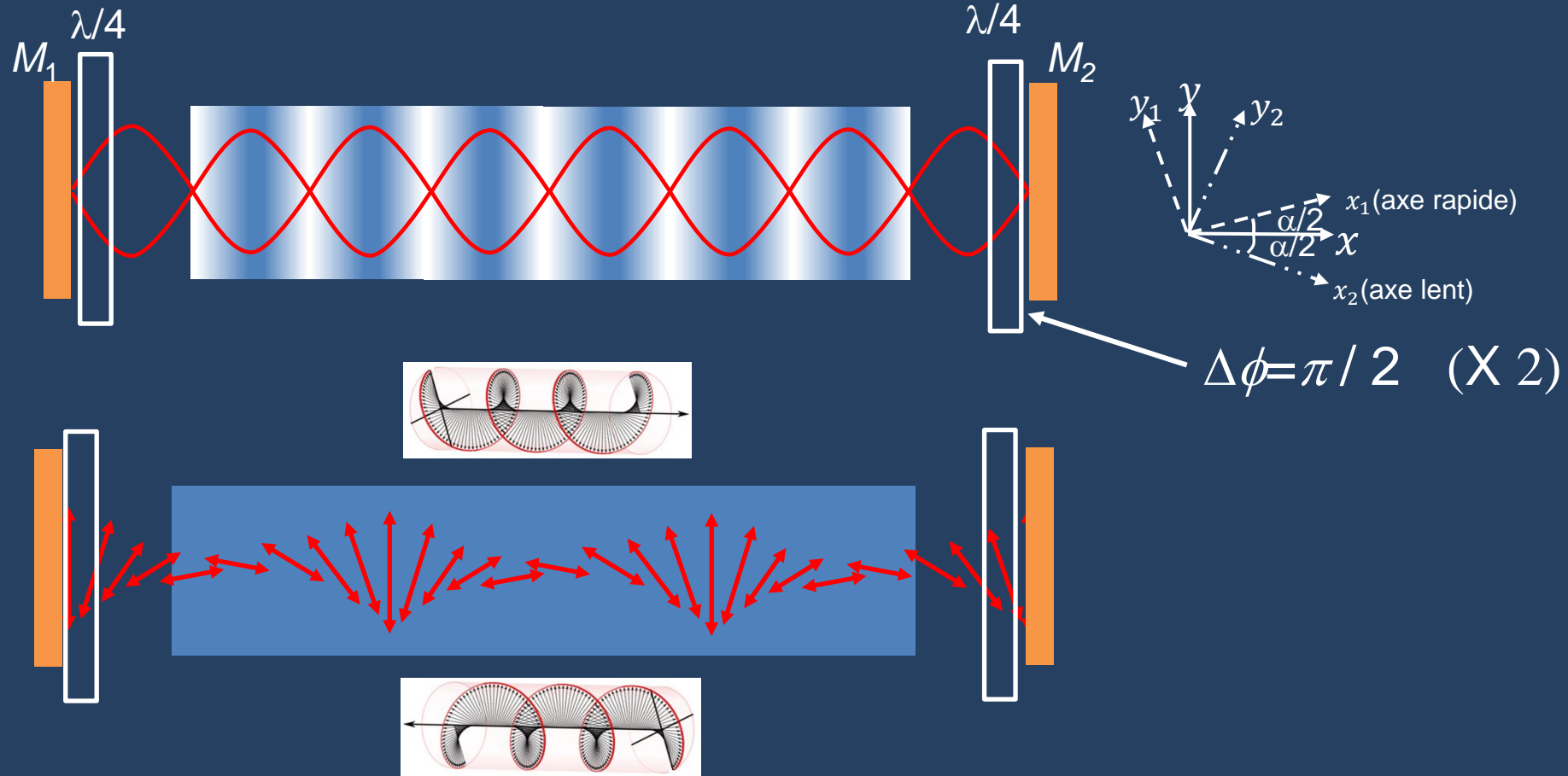


Luminar's lidar system acquires a 3-D point cloud (250 points per square degree) in real time via a 1550-nm amplified fiber laser and a custom InGaAs chip.

Réf.: Optics and photonics news (2019)

Réalisation d'un laser à modes torsadés

Réf.: Siegman et al., Appl. Opt. 1965

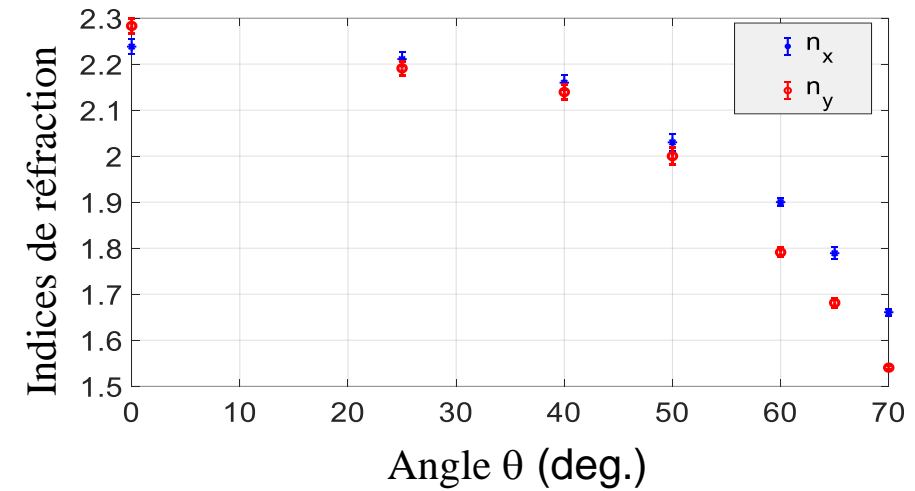
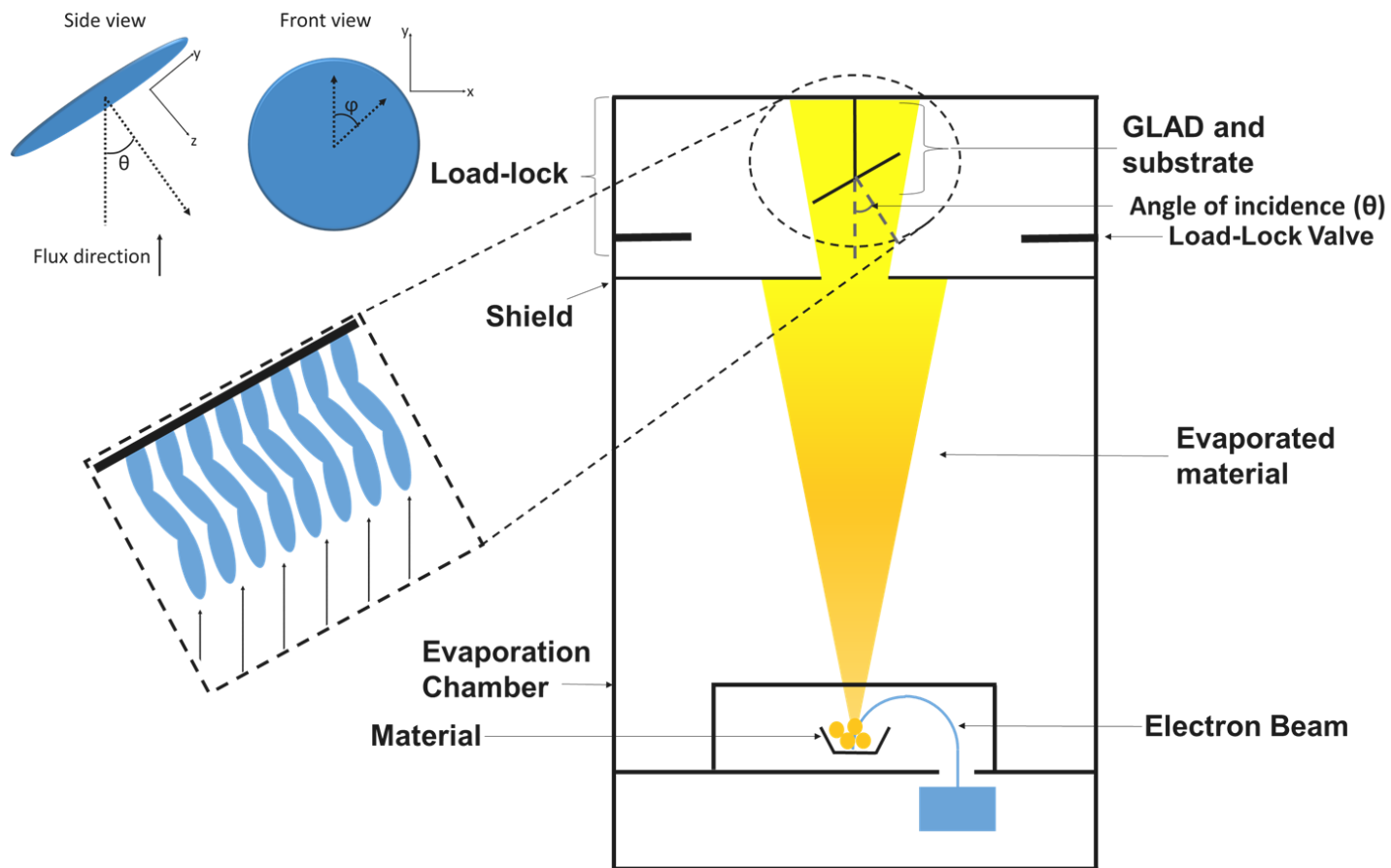


Intensité uniforme à l'intérieur du résonateur
 \Rightarrow Suppression des modes compétiteurs

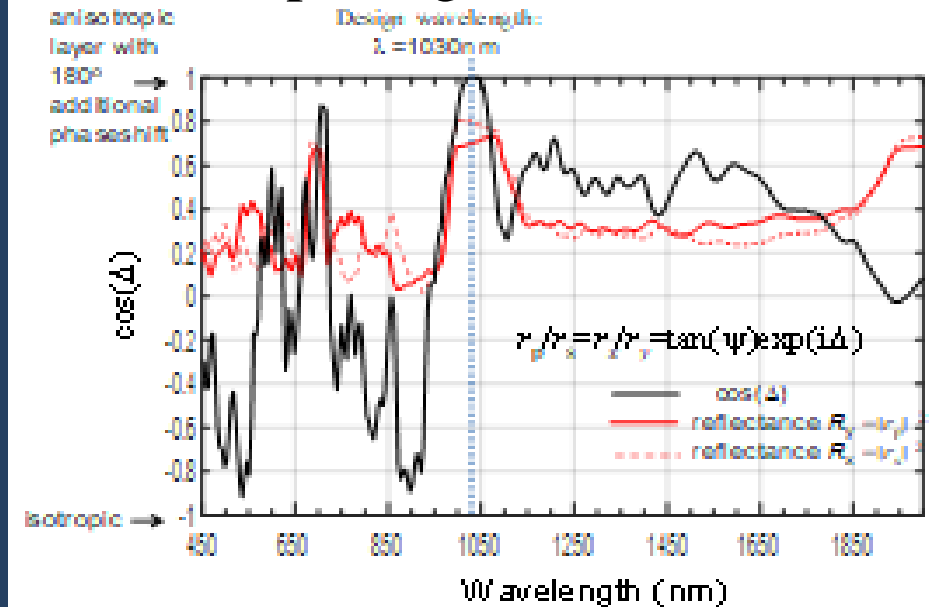
Réalisation d'un laser à modes torsadés miniature

(Appl. Opt. 59(5), A83, 2020)

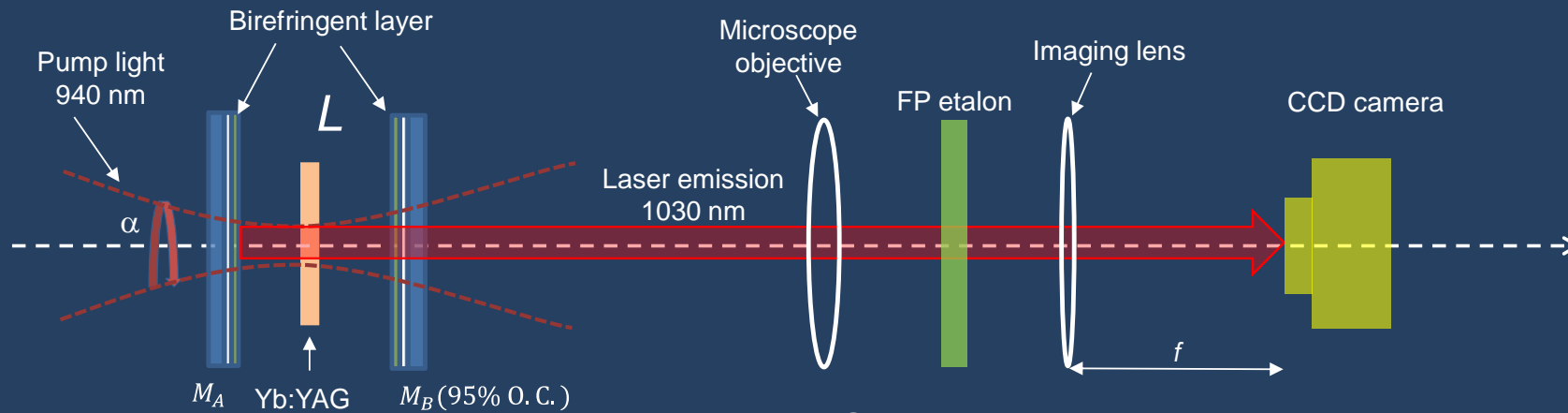
Couches anisotropes obtenues avec la Déposition à angle oblique



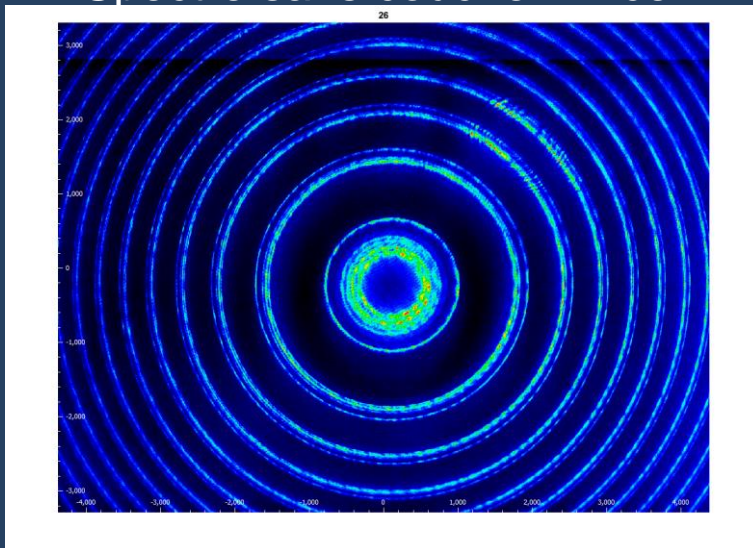
Déphasage désiré de π .



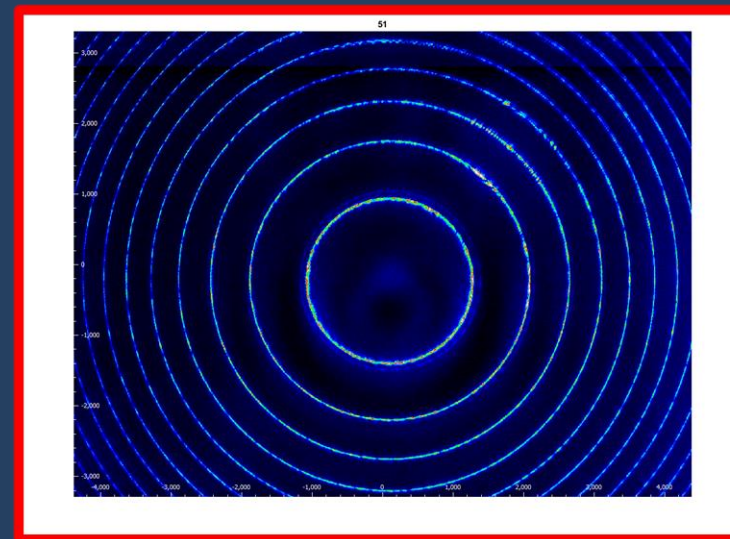
Mesure du spectre d'émission



Spectre sans couche mince

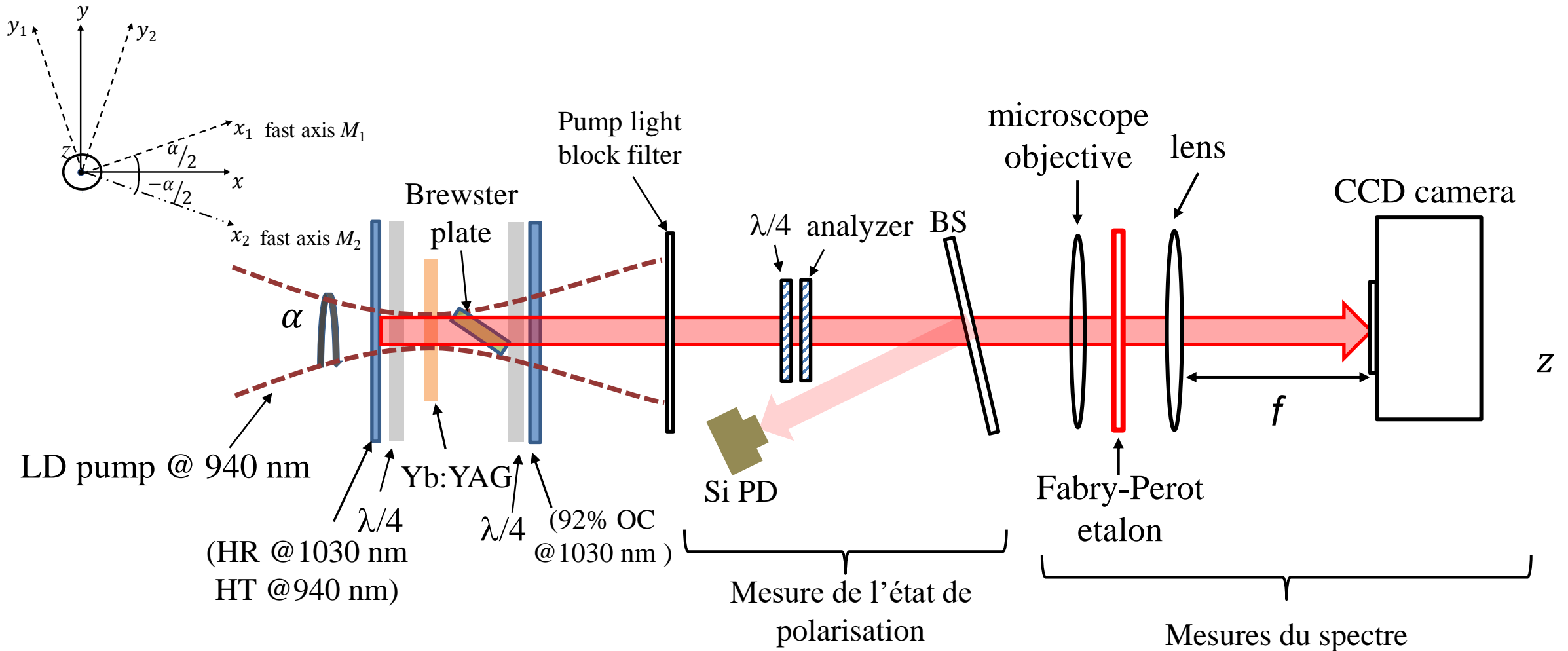


Spectre avec couche mince



- Spectre d'émission plus monomode
- L'émission bascule entre deux états de polarisation

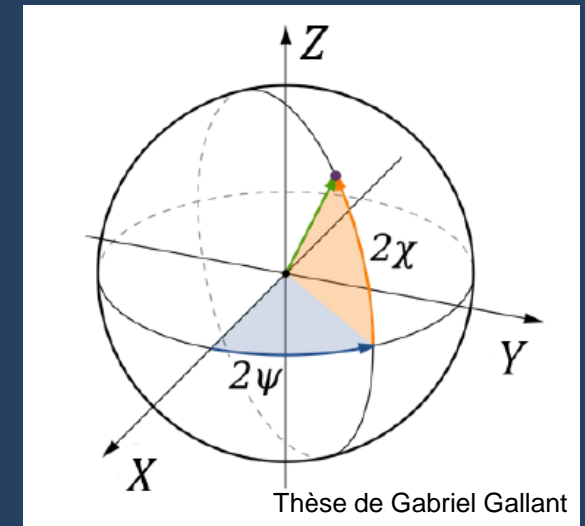
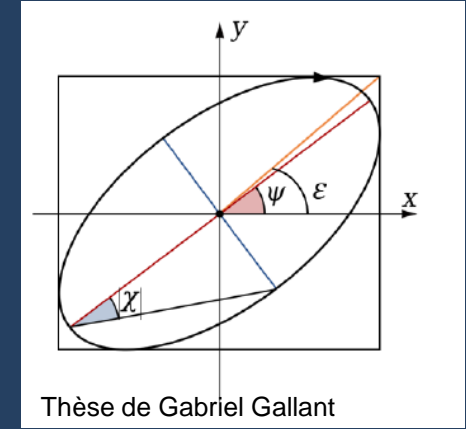
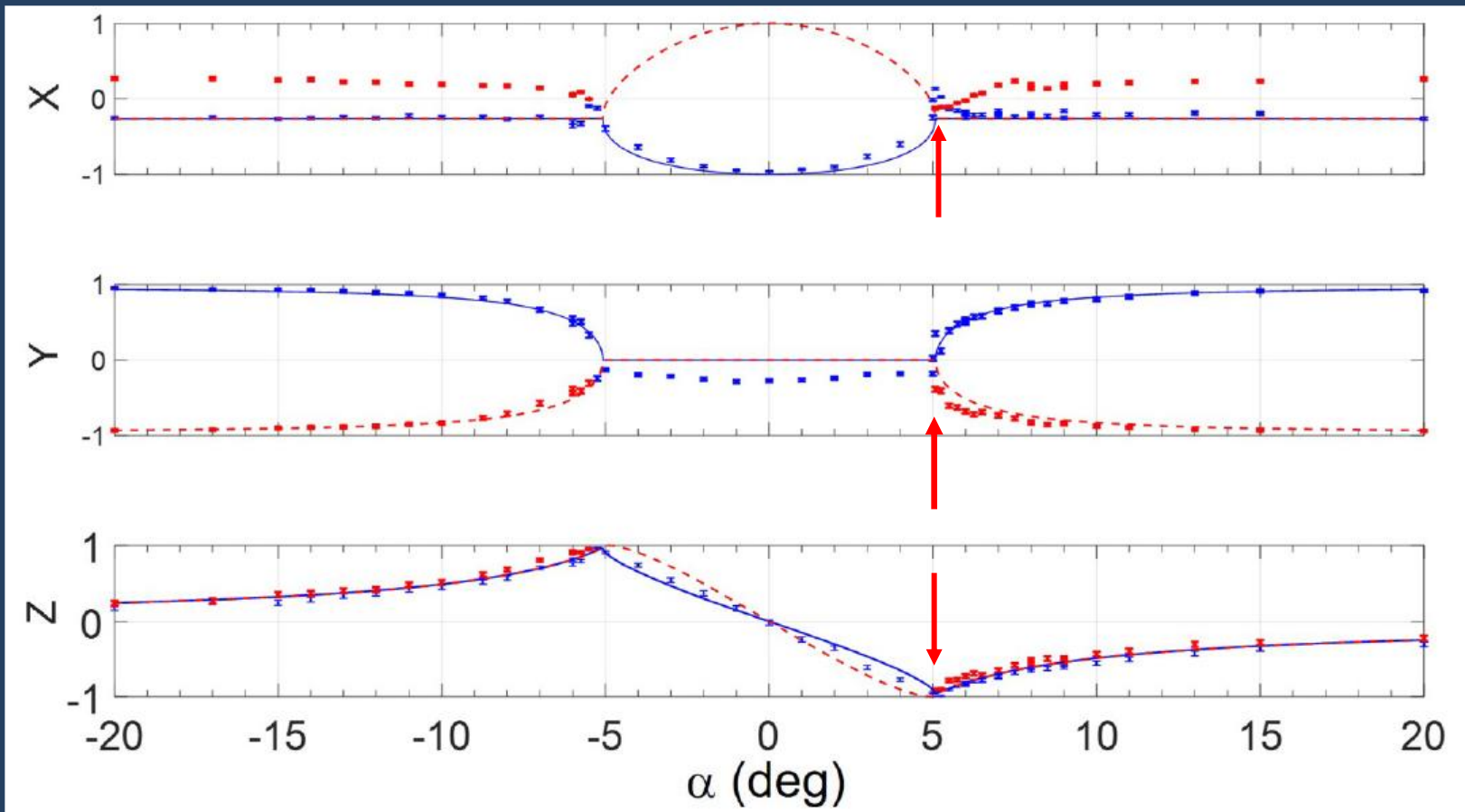
Résonateur à modes torsadés + diatténuation



Insérer une fenêtre de Brewster pour créer la diatténuation.

Coalescence des états de polarisation

(Phys. Rev. A, 102, 043522, 2020)

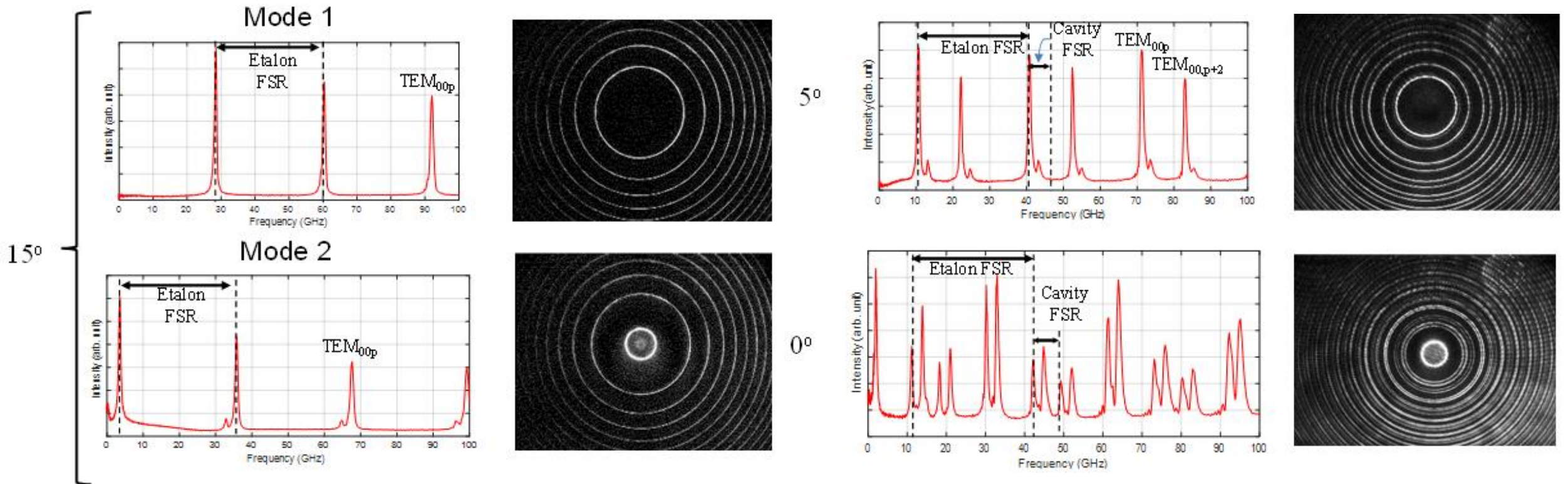


Fusion des états de polarisation à $\alpha=5^\circ$



Mesure du spectre d'émission

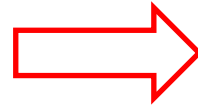
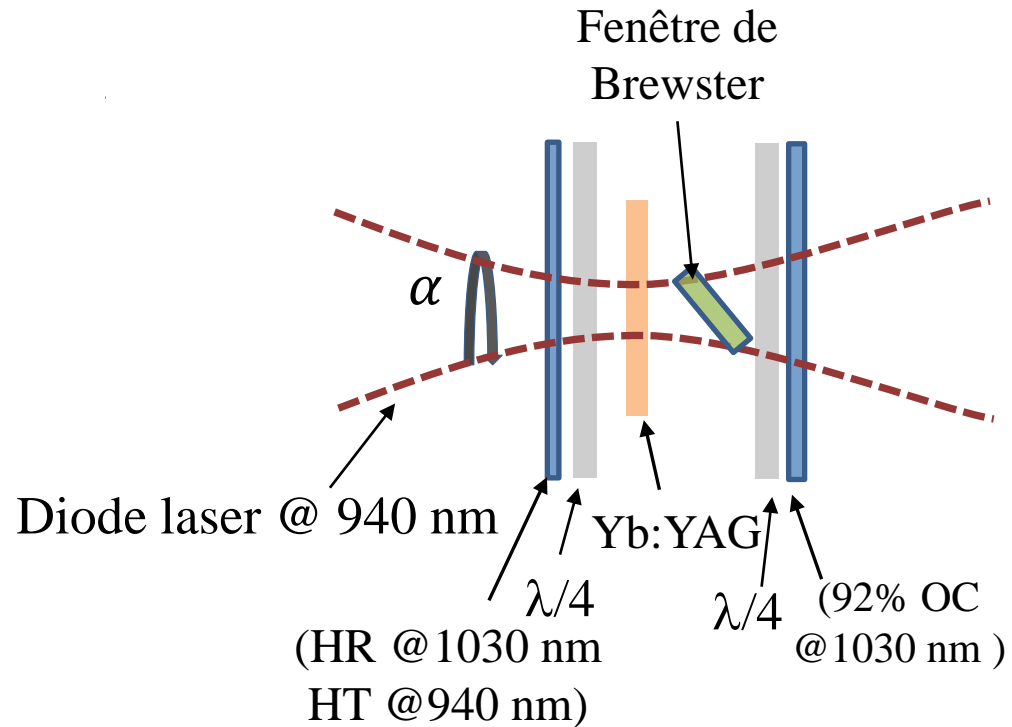
But: éliminer la compétition entre états de polarisation tout en gardant l'effet de mode torsadé.



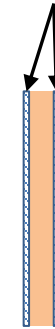
$\alpha > \alpha_{PE} = 5^\circ$: émission monomode / 2 états de polarisation.

Pour $\alpha < \alpha_{PE}$: émission multimode / un état de polarisation

Prochaine étape: un laser miniature opérant au point exceptionnel



Couches anisotropes



1. Réseau gravé dans un multicouche diélectrique
2. Dépôt à angle oblique

Remerciements

Pierre St-Onge

Koffi Novignon Amouzou

Kris Bulmer

Alexandre Doucet

Gabriel Gallant

Yves Christian Nonguierma

