

# Diode laser accordable sur deux longueurs d'onde

Véronique Zambon, Nathalie McCarthy et Michel Piché



UNIVERSITÉ  
LAVAL



COPL  
Centre d'optique,  
photonique et laser

## Un célèbre dicton dit...

---

Une longueur d'onde  
c'est bien...


mais deux  
c'est mieux

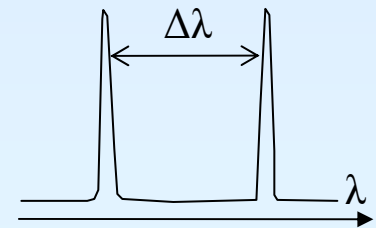
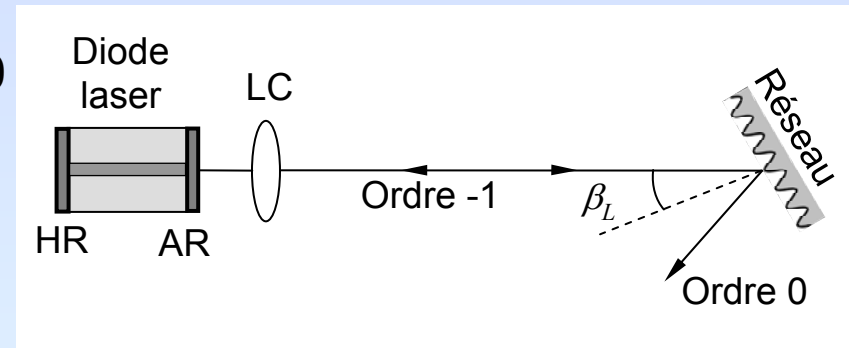
$\lambda$

$\lambda_1$

$\lambda_2$

# Mise en contexte

- L'utilisation de **diodes laser en cavité externe** permet d'améliorer les caractéristiques d'émission et d'accordabilité du faisceau.
- Une configuration bien connue: configuration de **Littrow**
  - L'ordre -1 est contre-propageant
  - Le couplage s'effectue par l'ordre 0
- Jean-François Lepage a réalisé, dans nos laboratoires, un coupleur consistant en la superposition de deux réseaux à pas (période) constant sur un même support. 
- Il a obtenu une **oscillation** sur **deux longueurs d'onde** simultanément, mais pour un réseau donné, l'écart spectral  $\Delta\lambda$  restait **constant**.



# Description du projet

---

## ● Objectif

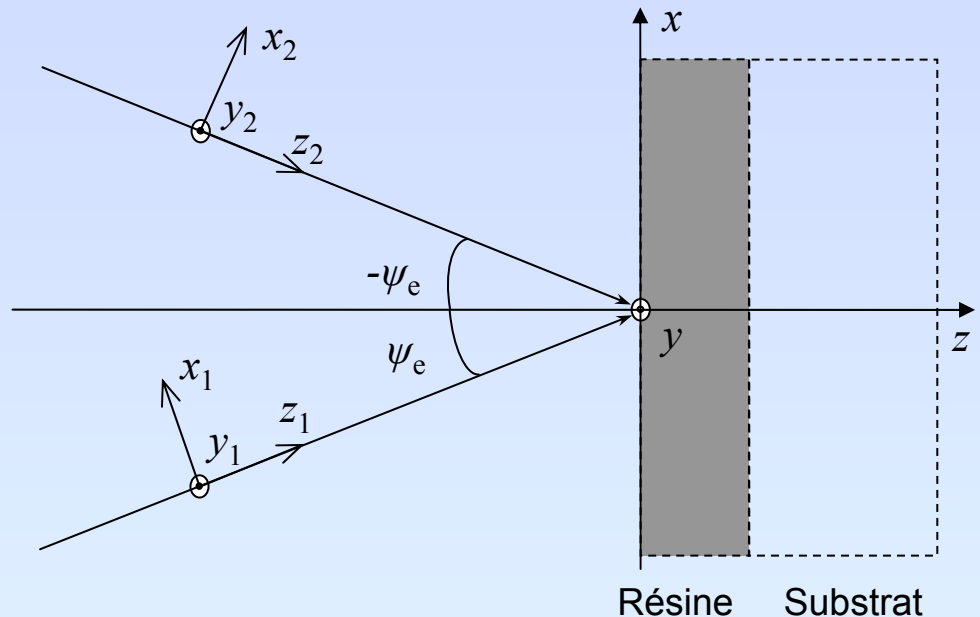
- Concevoir un réseau holographique qui
  - permet d'obtenir une **émission laser simultanée sur deux longueurs d'onde** lorsqu'utilisé en cavité externe avec une diode laser.
  - permet un **ajustement sur l'écart spectral** entre les deux longueurs d'onde émises.

## ● Méthodologie

- Fabriquer un coupleur par l'enregistrement d'un réseau à période variable et d'un réseau à période constante **au même endroit** sur un support.

# Écriture du réseau à pas variable

- L'écriture du réseau à pas variable est réalisée en enregistrant la figure d'interférence de deux faisceaux gaussiens incidents à des angles de  $\psi_e$  et  $-\psi_e$  par rapport à la normale sur une lame recouverte de résine photosensible.



- La **variation du pas** est provoquée en **modifiant le rayon de courbure** d'un des faisceaux d'écriture par l'insertion d'une lentille cylindrique dans son trajet optique.

## ...réseau à pas variable

- Le profil en surface du réseau est directement proportionnel à la figure d'intensité dans le plan d'exposition situé à  $z = 0$ :

$$h(x, y, 0) = \frac{h_0}{I_0} \{ E_1^2(x, y, 0) + E_2^2(x, y, 0) + 2E_1(x, y, 0)E_2(x, y, 0) \cos \Delta\phi(x, y, 0) \}$$

où  $\Delta\phi$  est causé par l'angle entre les deux faisceaux d'écriture et par la différence entre leur rayon de courbure.

- La période du réseau est calculée à l'aide de la relation suivante

$$\Lambda_\alpha(x, y) = 2\pi \left( \frac{\partial(\Delta\phi(x, y, 0))}{\partial\alpha} \right)^{-1}$$

où  $\alpha = x, y$ .

## ...réseau à pas variable

- Le pas  $\Lambda(x)$  est décrit par la relation Fortin\*



$$\Lambda_1(x) = \lambda_e \cdot \left[ \frac{x \cos^2 \psi_e}{R_{x1}(x)} \left\{ 1 - \frac{x \sin \psi_e}{2R_{x1}(x)} \left[ 1 - \left( \frac{z_{Rx1}}{x \sin \psi_e - z_{0x1}} \right)^2 \right] \right\} - \frac{x \cos^2 \psi_e}{R_{x2}(x)} \left\{ 1 + \frac{x \sin \psi_e}{2R_{x2}(x)} \left[ 1 + \left( \frac{z_{Rx2}}{x \sin \psi_e + z_{0x2}} \right)^2 \right] \right\} + 2 \sin \psi_e \right]^{-1}$$

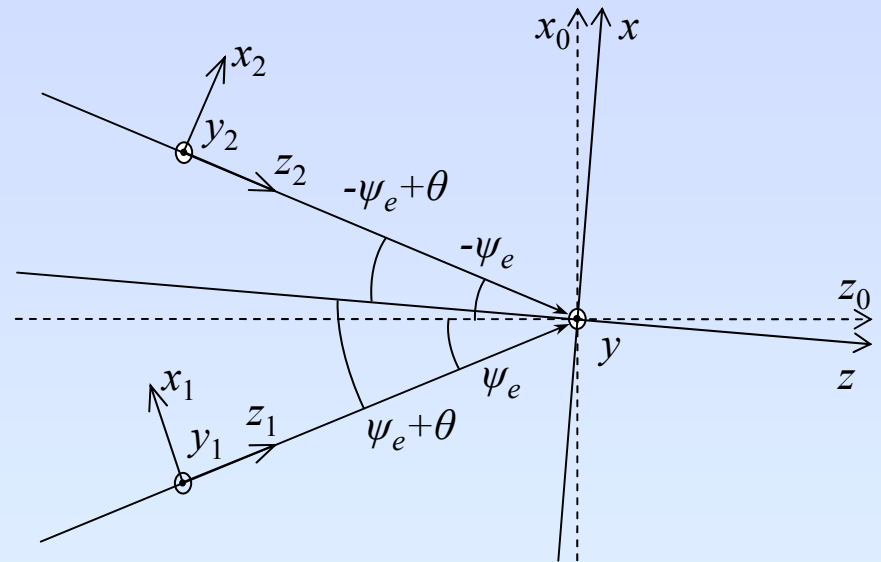
- Le pas central  $\Lambda_1(0)$  du réseau est donné par

$$\Lambda_1(0) = \frac{\lambda_e}{2 \sin \psi_e}$$

\*Gilles Fortin, physicien (Université Laval)

# Écriture du réseau à pas constant

- La deuxième exposition s'effectue après avoir légèrement **tourné la lame** d'un **angle  $\theta$** . Les angles d'écriture par rapport à la normale de la lame deviennent respectivement  $\psi_e + \theta$  et  $-\psi_e + \theta$ .



- Pour cette exposition, la lentille cylindrique qui a été insérée dans l'un des bras d'écriture est enlevée afin que les **courbures du front de phase des deux faisceaux** gaussiens dans le plan d'exposition soient **identiques**.



## ...réseau à pas constant

- L'expression du pas est simplifiée en considérant que les rayons de courbure des fronts de phase des deux faisceaux d'écriture à la surface de la résine sont identiques et tendent vers l'infini.

$$R_{x1} = R_{x2} \rightarrow \infty$$

- L'équation du pas est alors donnée par:

$$\Lambda_2 = \frac{\lambda_e}{|\sin(\psi_e + \theta) - \sin(-\psi_e + \theta)|} = \frac{\lambda_e}{2 \sin \psi_e} \cdot \frac{1}{\cos \theta}$$

- Nous observons que le pas du réseau à pas constant est relié au pas central du réseau à pas variable par la relation

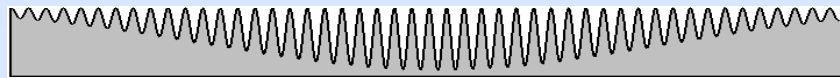
$$\Lambda_2 = \Lambda_1(0) \cdot \frac{1}{\cos \theta}$$

# Modulation en profondeur des réseaux

- Le profil en profondeur du réseau sera proportionnel à la somme des distributions d'intensité dans le plan  $z=0$  (plan de la résine).

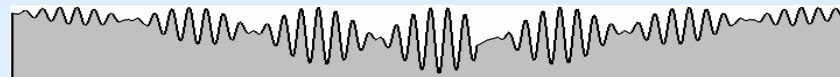
a) Pour un réseau à pas constant

$$h(x, y) = \frac{h_0}{2} \left( 1 + \cos \left( \frac{2\pi}{\Lambda} x + \varphi_0 \right) \right) \times \text{gaussienne}$$



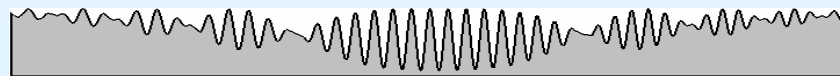
b) Pour deux réseaux à pas constant superposés sur un même support

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \left( h_{01} + h_{01} \cos \left( \frac{2\pi}{\Lambda_1} x + \varphi_{01} \right) + h_{02} + h_{02} \cos \left( \frac{2\pi}{\Lambda_2} x + \varphi_{02} \right) \right) \times \text{gaussienne}$$



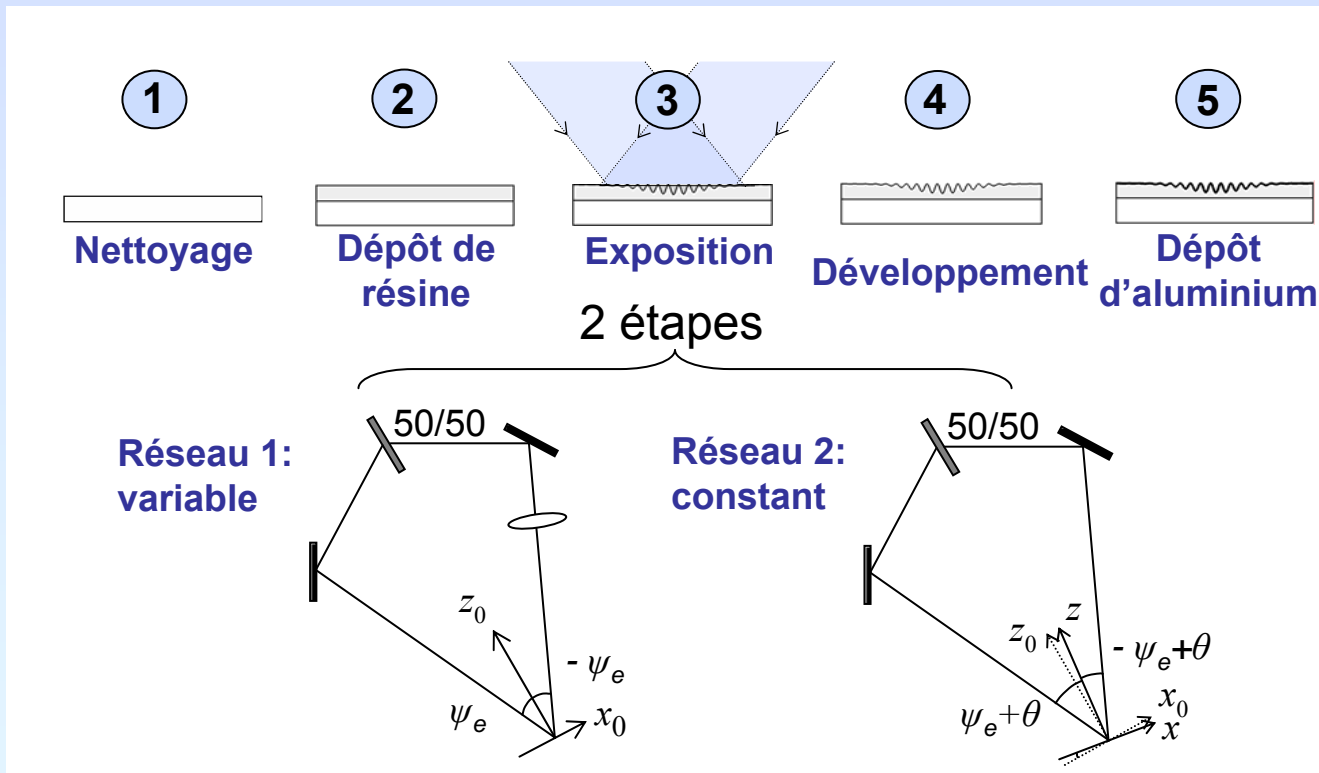
c) Pour un réseau à pas constant et un réseau à pas variable superposés

$$h(x, y) = \frac{1}{2} \left( h_{01} + h_{01} \cos \left( \frac{2\pi}{\Lambda_1(x)} x + \varphi_{01} \right) + h_{02} + h_{02} \cos \left( \frac{2\pi}{\Lambda_2} x + \varphi_{02} \right) \right) \times \text{gaussienne}$$



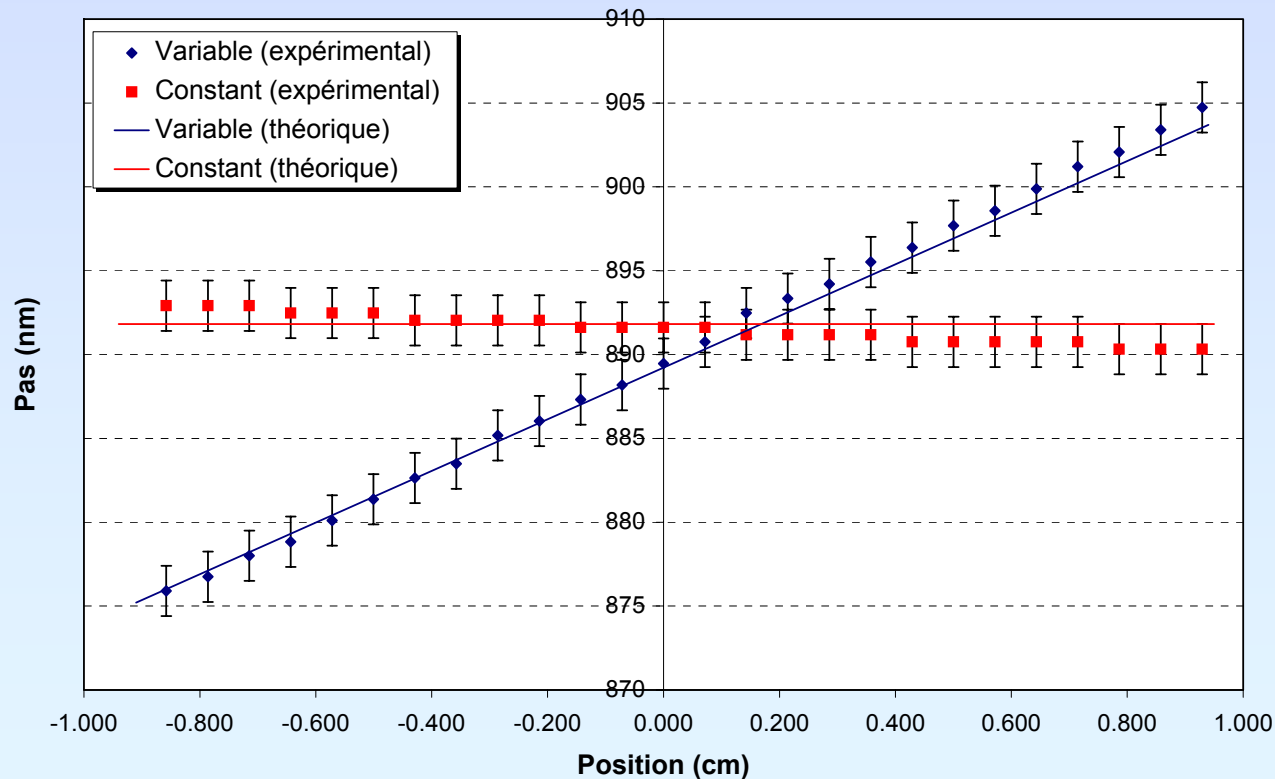
# Fabrication des réseaux holographiques

- La fabrication des réseaux holographiques se divise en cinq étapes : le nettoyage du substrat, le dépôt de résine photosensible, l'exposition, le développement ainsi que le recouvrement d'aluminium.



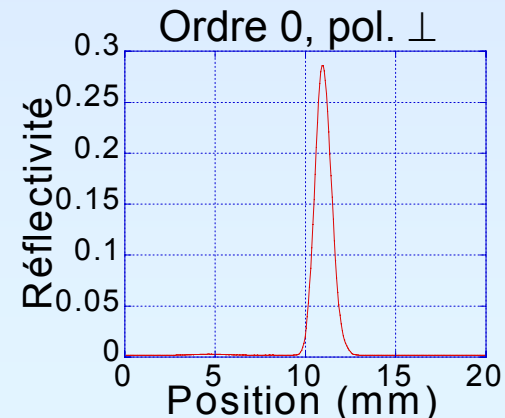
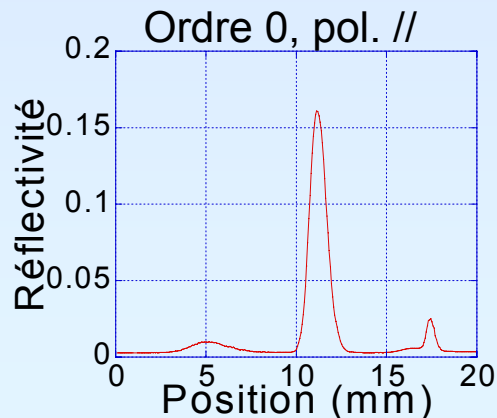
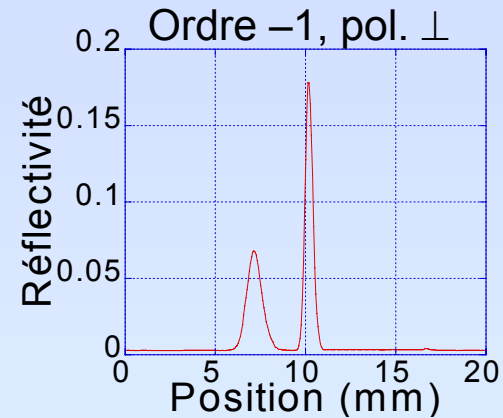
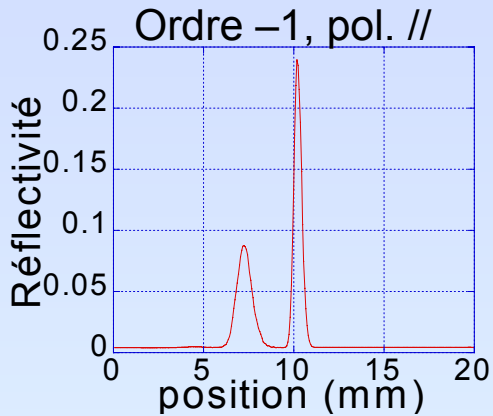
# Caractérisation du pas du réseau

- La caractérisation du pas du réseau s'est effectuée en mesurant l'angle de diffraction de l'ordre -1 selon la position en x du réseau par rapport au faisceau de lecture.



# Réflexivité des ordres diffractés

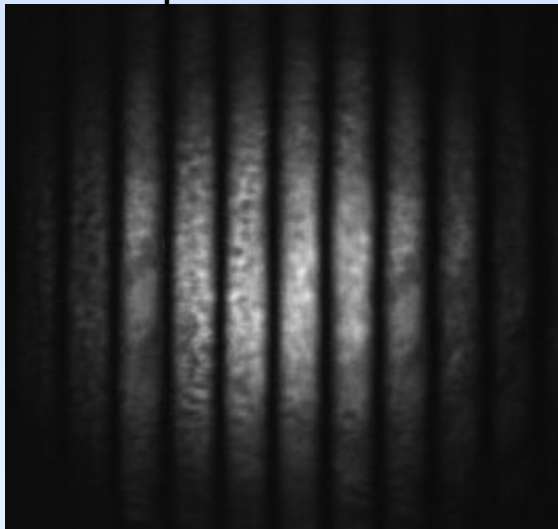
- Nous avons mesuré le profil de réflexivité des ordres diffractés lorsqu'un faisceau laser à 632,8 nm est dirigé vers le réseau.



# Imagerie des réseaux

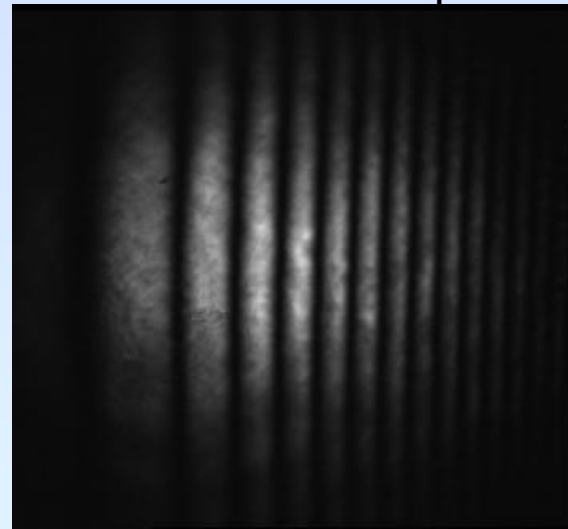
- En imageant le réseau à l'aide d'une caméra CCD, nous pouvons observer la distribution locale de la réflectivité sur les réseaux.

Superposition de deux réseaux  
à pas constant



1<sup>ère</sup> exposition: sans lentille  
2<sup>e</sup> exposition: sans lentille

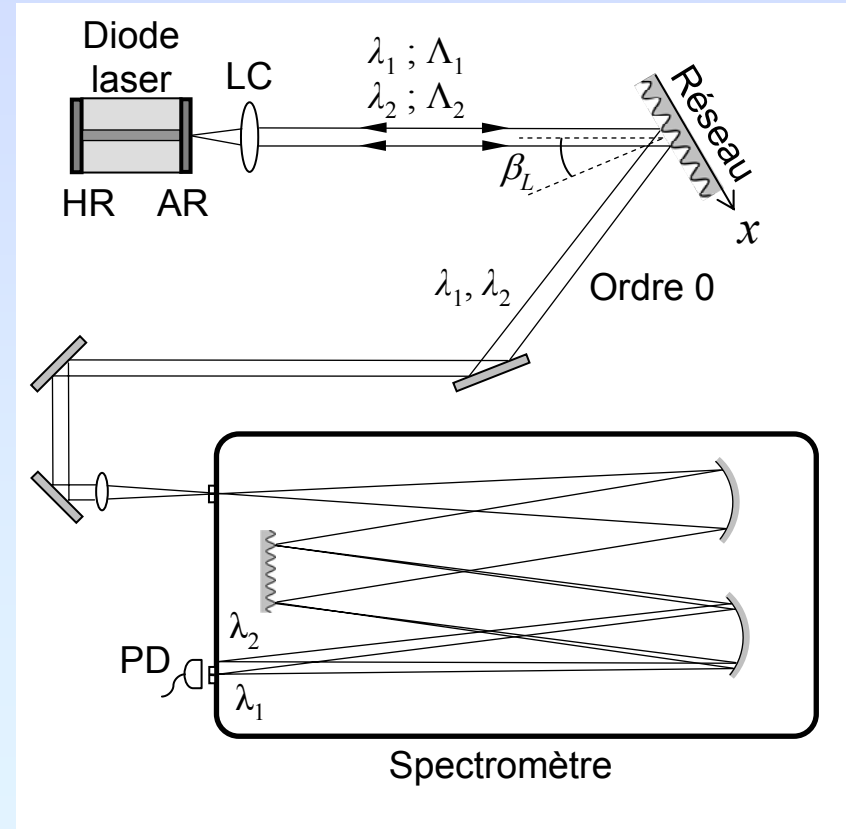
Superposition d'un réseau à pas  
variable et d'un réseau à pas constant



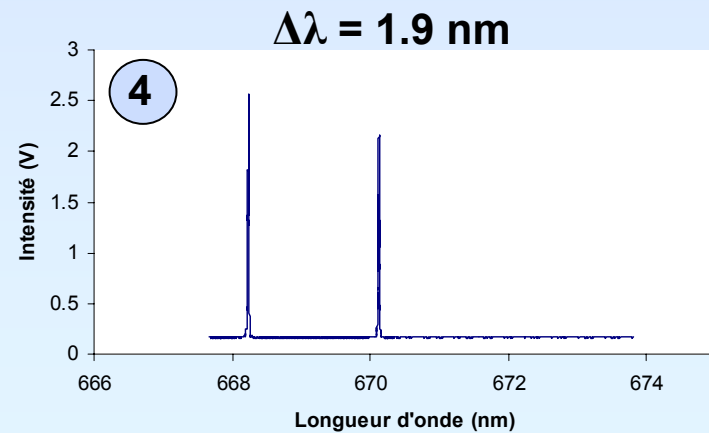
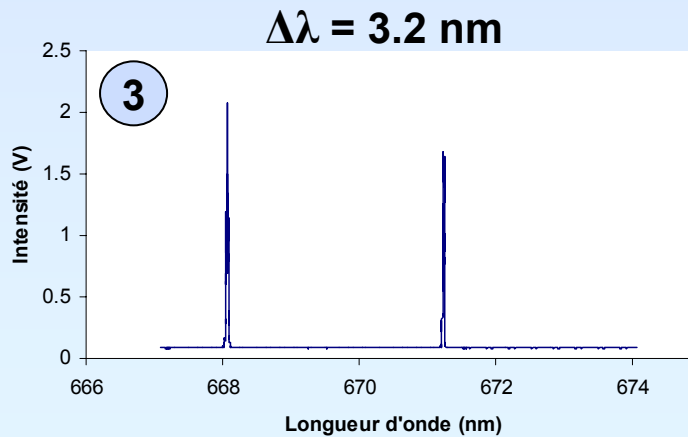
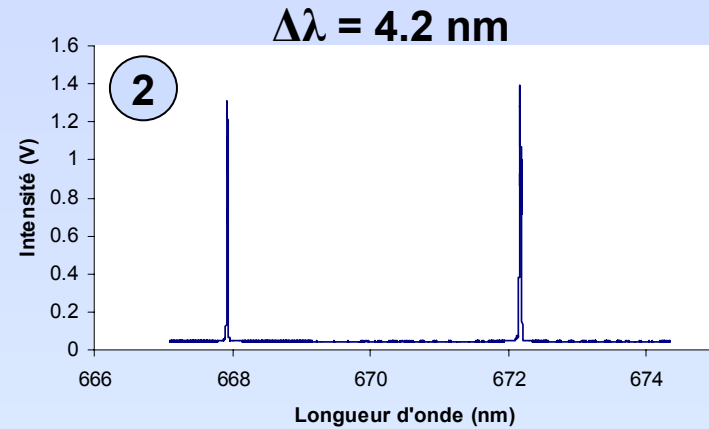
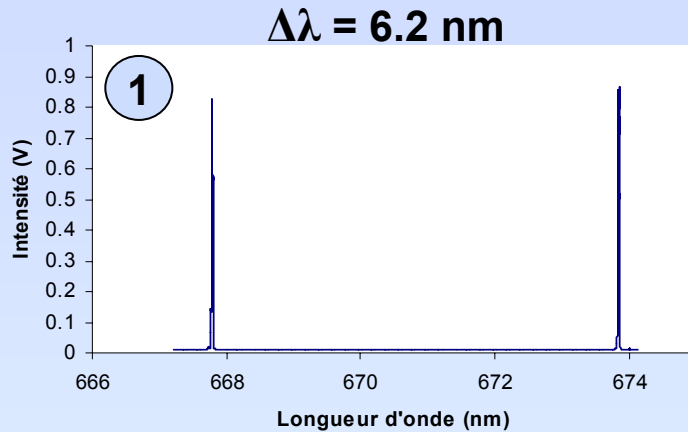
1<sup>ère</sup> exposition: avec lentilles  
2<sup>e</sup> exposition: sans lentille

# Montage de la cavité externe

- La cavité externe a été élaborée selon une configuration de Littrow.
- Une diode laser émettant autour de 675 nm a été utilisée.
- Pour mesurer les caractéristiques spectrales de la diode laser en cavité externe, nous avons utilisé un spectromètre de haute résolution (Jarrel-Ash, 590 lignes/mm).

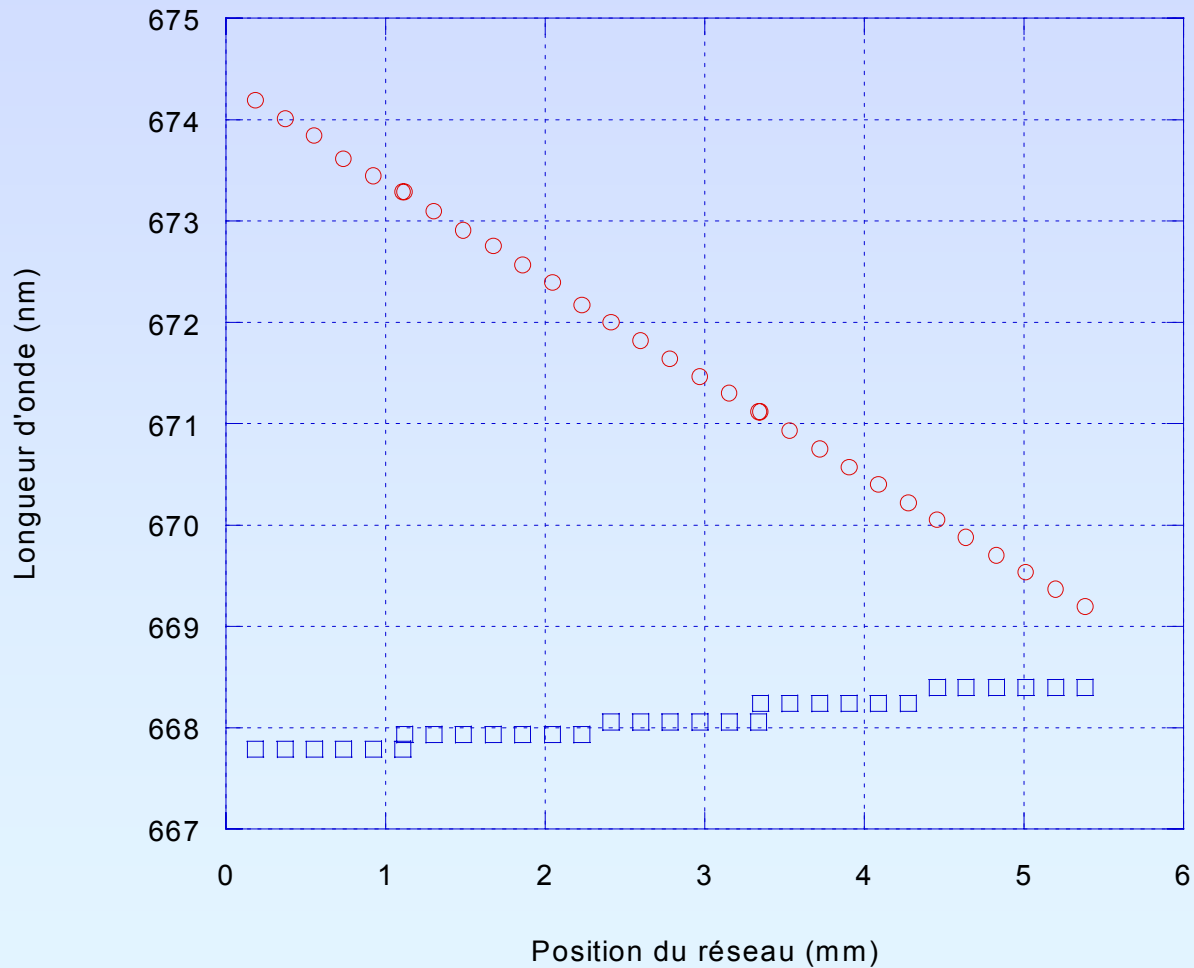


# Spectres obtenus selon différentes positions sur le réseau constant/variable





# Syntonisation sur deux longueurs d'onde par translation du réseau



# Conclusion

- Nous avons vu comment il est possible, en superposant un réseau à pas variable et un réseau à pas constant sur un même support, d'obtenir un élément coupleur entraînant une rétroaction sur deux longueurs d'onde différentes en configuration de Littrow.
- Nous avons démontré qu'un réseau à pas variable/constant permet d'ajuster l'écart spectral entre les deux longueurs d'onde émises.
- L'utilisation de ces réseaux comme coupleur peut s'étendre à d'autres types de lasers: les lasers à l'état solide ou les lasers à fibres.
- Il serait également intéressant d'utiliser ce réseau pour évaluer le plus petit écart spectral possible entre les deux longueurs d'onde émises simultanément par une diode laser.



UNIVERSITÉ  
LAVAL



COPL  
Centre d'optique,  
photonique et laser



**NSERC**  
**CRSNG**



ICIP  
CIPI