

Interfaçage d'un spectromètre à réseau



Erwan Weckenmann



Année 2018-2019

Master 2 Photonique, Université de Rennes 1

Projet encadré par François Parnet et Goulc'hén Loas, Institut FOTON

Introduction

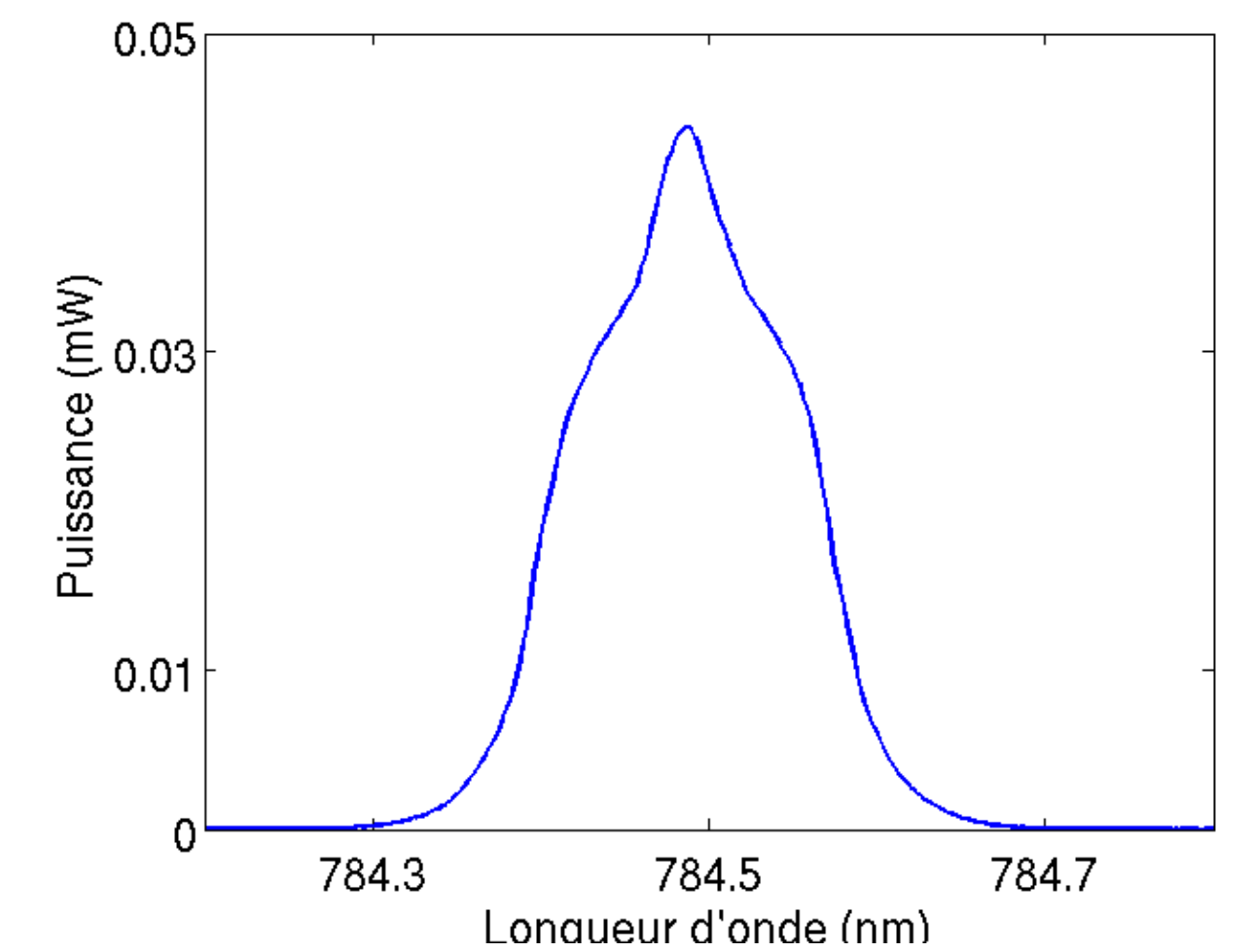
Projet de recherche : observation d'un peigne de fréquences d'un laser à 784 nm modulé à **18 GHz** ($\Delta\lambda \approx 0.037 \text{ nm}$)

→ Résolution d'un analyseur de spectre optique Yokogawa AQ6370D : **0.05 nm @ $\lambda \sim 800 \text{ nm}$**

→ Utilisation d'un spectromètre : fente de sortie remplacée par une caméra

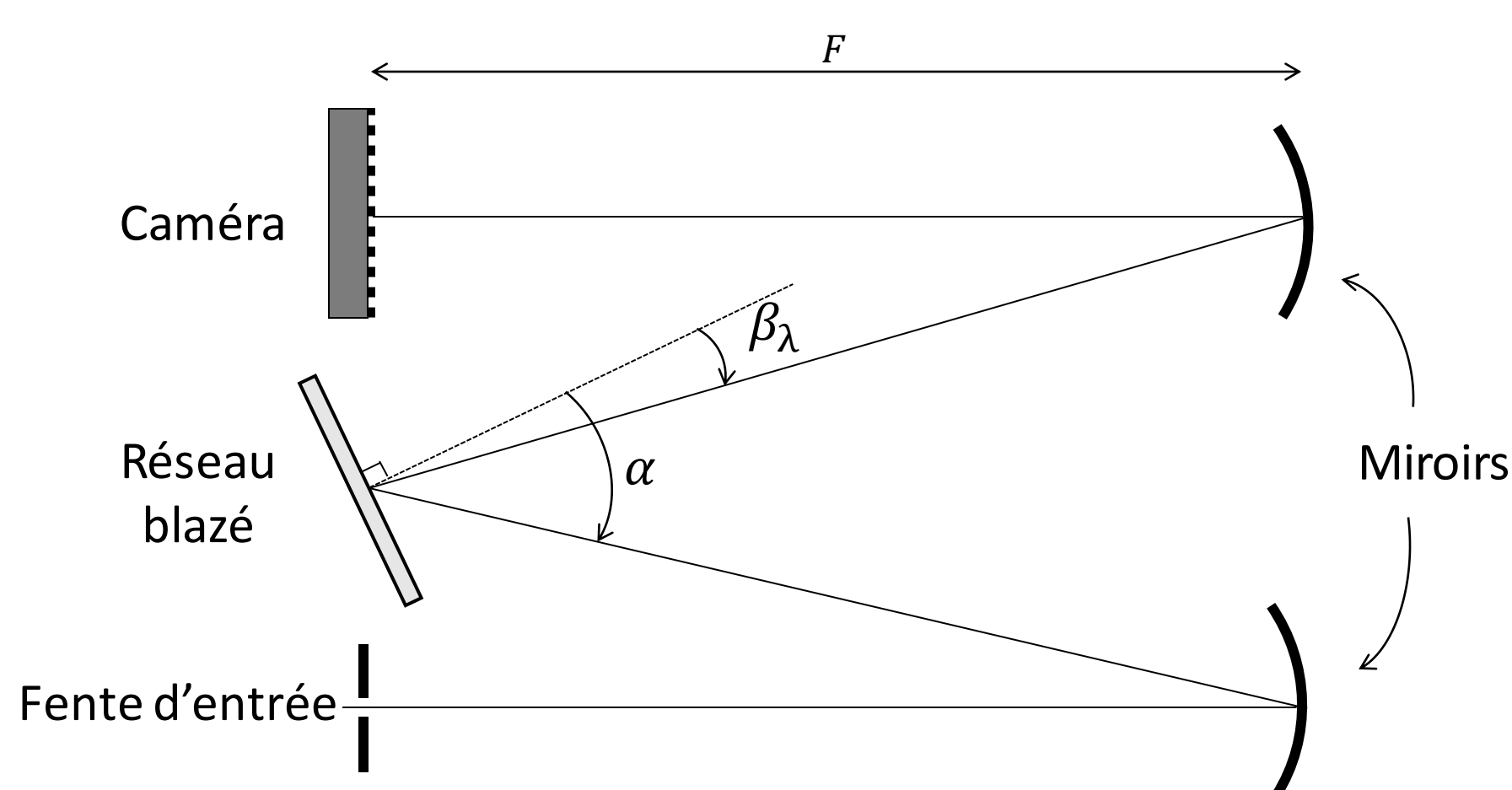
→ Interfaçage de la caméra en Python

→ Résolution attendue : **0.006 nm**



Spectromètre

Monochromateur à réseau de type Czerny-Turner



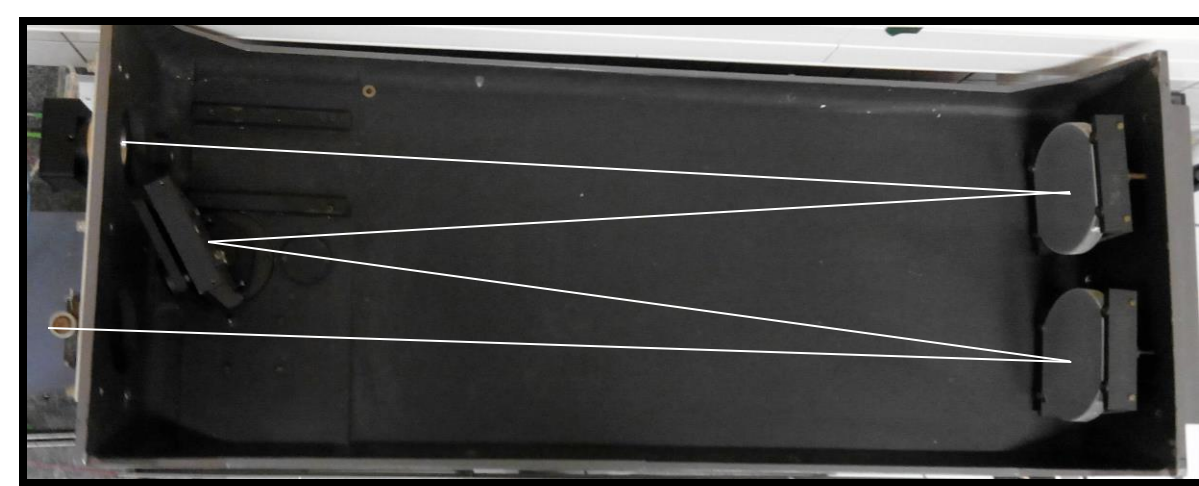
$n = 1200 \text{ tr/mm}$
Longueur focale du système : $F = 1000 \text{ mm}$
Longueur d'onde de blaze : $\lambda_B = 500 \text{ nm}$



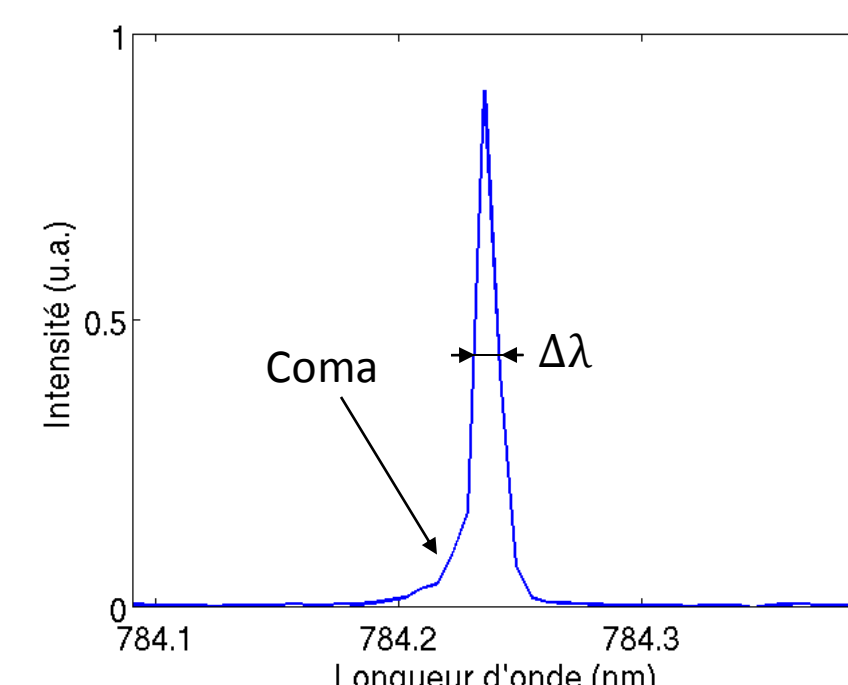
Mightex TCE-1304-UW :

- 3648 pixels
- Taille de pixel : $8 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$
- Dynamique : 300

→ Fenêtre $\sim 23 \text{ nm}$ @ $\lambda \sim 800 \text{ nm}$



Spectromètre Hilger & Watts Monospek 1000



Acquisition du spectre d'un laser à 784 nm

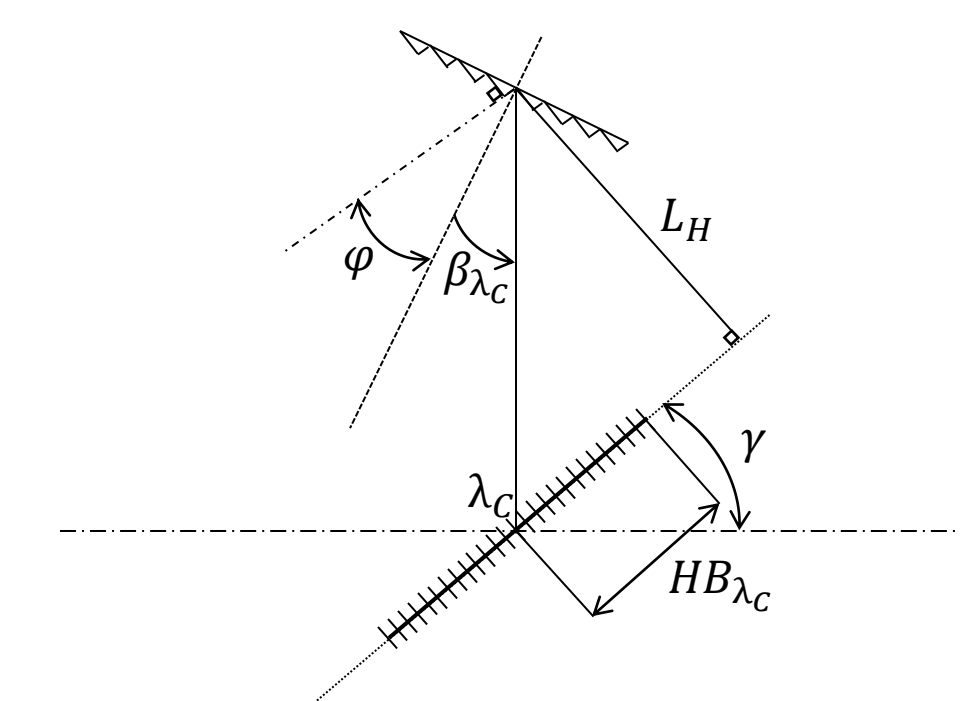
Système imageant

→ Aberrations

Résolution obtenue :
 $\Delta\lambda = 1 \text{ pixel} \approx 0.006 \text{ nm}$

Théorie

- Déterminer λ pour chaque pixel



α : Angle d'incidence
 β_{λ_n} : Angle du faisceau diffracté
 ϕ : Angle de blaze
 γ : Angle d'inclinaison du plan de la caméra par rapport au plan focal
 k : Ordre de diffraction

P_C : Pixel central (défini arbitrairement)
 λ_C : Longueur d'onde centrale correspondante
 P_n : Pixel correspondant à la longueur d'onde λ_n
 $P_w = 8 \mu\text{m}$: Largeur d'un pixel

$HB_{\lambda_n} = HB_{\lambda_C} + P_w(P_C - P_n)$

$(\sin \alpha + \sin \beta_{\lambda_n}) = kn\lambda_n$

$\beta_{\lambda_n} = \beta_{\lambda_C} + \gamma - \arctan\left(\frac{HB_{\lambda_n}}{L_H}\right)$

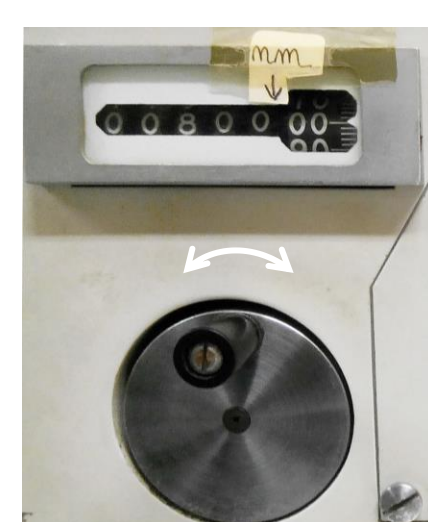
Source : [1]

Étalonnage en longueur d'onde

Pixel central : Défini à partir de l'indicateur du spectromètre

Étalonnage à partir de spectres connus :

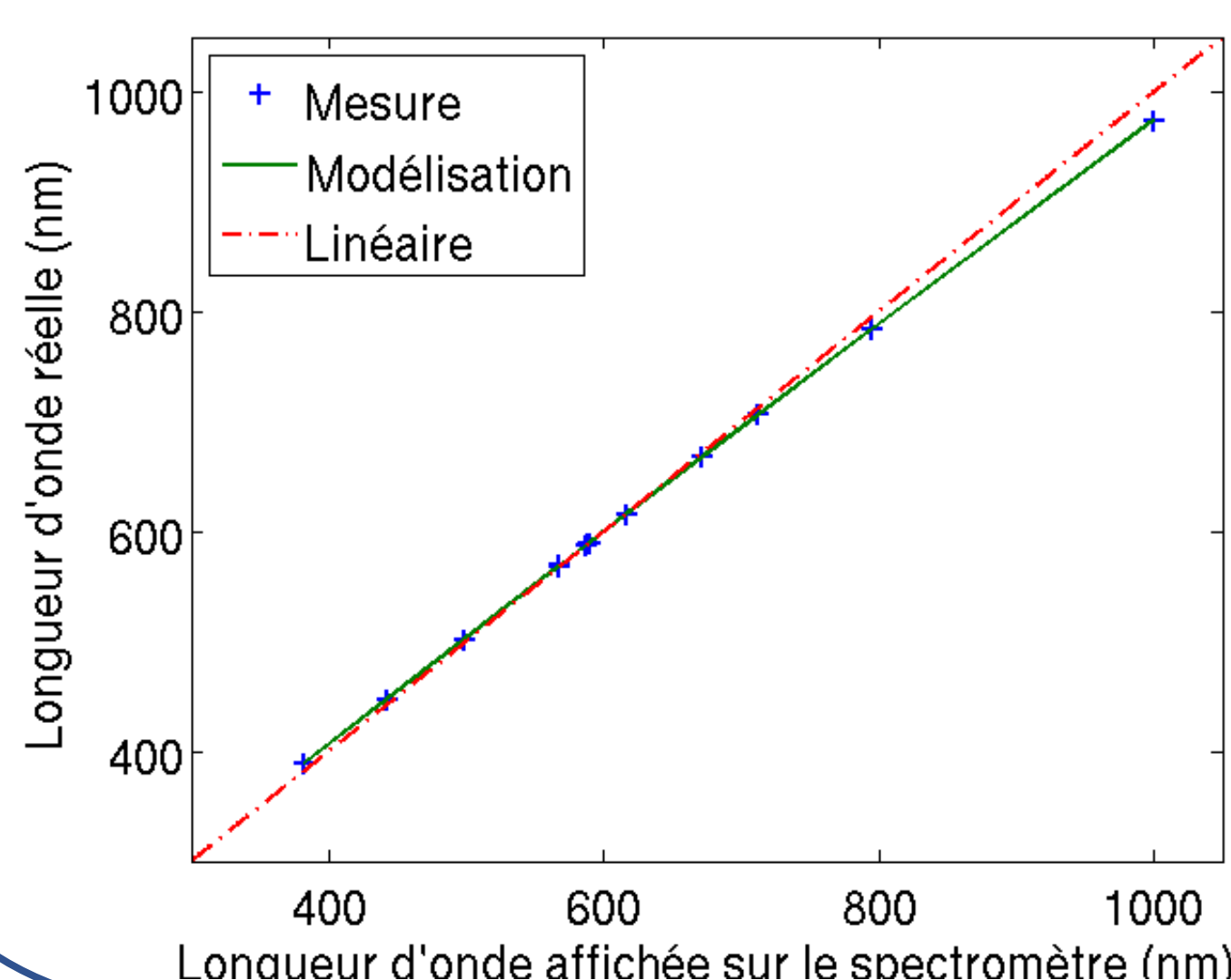
- Lampes spectrales à Sodium et Hélium
- Lasers à 784 nm et 1064 nm



Rotation du réseau

Variation non linéaire de la longueur d'onde réelle

Modélisation : polynôme de degré 2

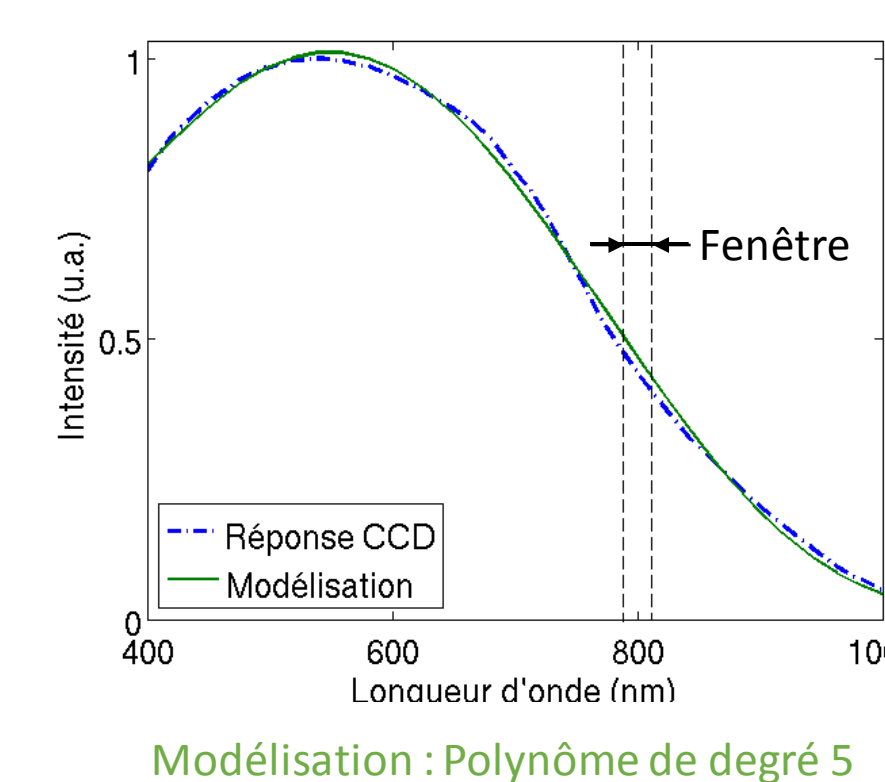


Erreur : $\pm 0.3 \text{ nm}$ @ $\lambda \approx 784 \text{ nm}$

Correction de la réponse spectrale du système

Correction à partir d'une source calibrée : indisponible

- Réponse spectrale de la caméra CCD



Modélisation : Polynôme de degré 5

- Efficacité de diffraction du réseau : inconnue
→ Distribution spectrale théorique de l'intensité [2] :

$$I(\lambda) = k \sin^2 \left(n\pi \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \phi)} \left[\cos \phi - \sin \phi \cot \frac{\alpha + \beta}{2} \right] \right)$$



Efficacité de diffraction dépendante de la polarisation

→ Correction utile pour les grandes fenêtres

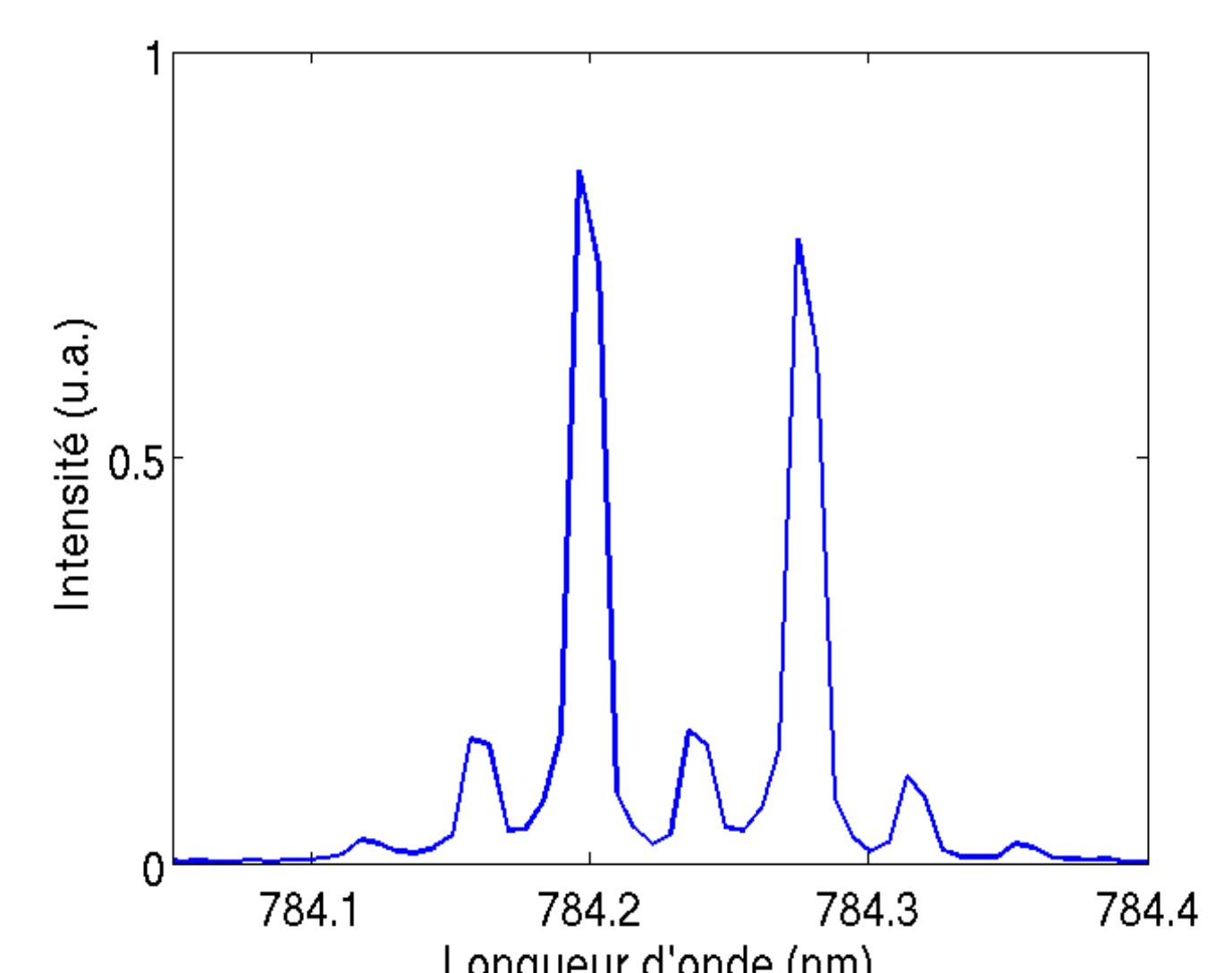
Conclusion et perspectives

- Résolutions :

- Yokogawa AQ6370D : **0.05 nm**
- Spectromètre + Caméra : **0.006 nm**
- Observation d'un peigne de fréquences d'un laser à 784 nm modulé à 18 GHz

- Amélioration possible :
Dynamique de mesure : changement de caméra
→ Coptonix S12706 : dynamique de 10000

- Autre spectromètre interfacé :
 $n = 300 \text{ traits/mm}$ $F = 250 \text{ mm}$ $\lambda_B = 500 \text{ nm}$
→ Large fenêtre ($\sim 350 \text{ nm}$)



Références :

- [1] : J. M. Lerner & A. Thevenon, *The Optics of Spectroscopy*, Instruments S.A. Inc., 1988
[2] : R. Casini & P. G. Nelson, "On the Intensity Distribution Function of Blazed Reflective Diffraction Gratings", *JOSA A*, 31, 2179-2184, 2014

Interfaçage

- Python (version 2.7, interface : Tkinter)

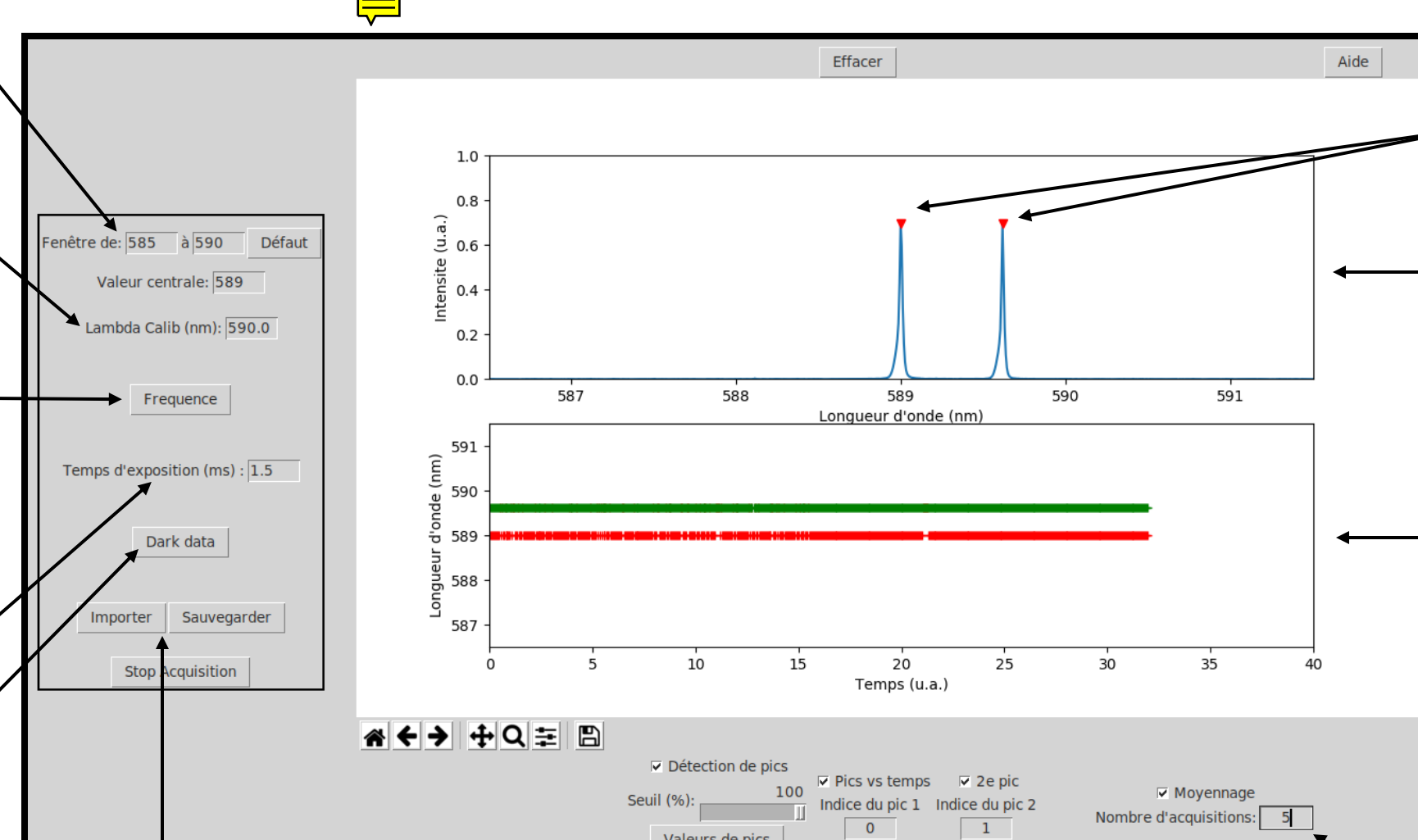
Choix de la fenêtre

Calibration en longueur d'onde

Fréquence/Longueur d'onde

Temps d'exposition (0.1 - 6500 ms)

Soustraction du dark noise



Marqueurs

Spectre

Suivi des pics

Détection de pics

Suivi des pics

Moyennage temporel

Importation/exportation des mesures