

Réduction de données - Néo-Narval

Algorithme de détection des raies du Fabry-Perot - `find_fp_slits.py`

Sylvain LUCAS

MàJ du 17 août 2017

1 Introduction

L'objectif de ce programme est de détecter et situer précisément pour chaque ordre les raies du Fabry-Perot sur l'axe x (voir la figure 1). Ce rapport a ainsi pour vocation d'expliquer la méthode mise en place en détaillant la structure adoptée pour ce module. Notons que ce document ne se substitue en rien à la documentation interne au code, mais permet d'adopter un point de vue plus global vis-à-vis de ce dernier, en explicitant les choix effectués.

On suppose d'une part que l'on dispose de la localisation précise des ordres et des voies dans les ordres et d'autre part que l'image sur le CCD n'a pas bougé entre le repérage des ordres et l'enregistrement de l'image du Fabry-Perot. Il est par ailleurs important de remarquer que ce programme est actuellement développé avec des données de Narval mais qu'il est a priori parfaitement capable de gérer des données de Néo-Narval. Enfin, on suppose que nous avons la configuration de dossiers suivantes : DATA, FILES, SRC et TEMP, le programme étant enregistré sous `./SRC/find_fp_slits.py`.

2 Les données

2.1 En entrée

Il est nécessaire de fournir en entrée le chemin vers trois fichiers :

- le fichier image du Fabry-Perot (en format .fts). Celui-ci est considéré comme déjà pré-traité. On adopte la convention que les ordres y sont comptés croissants avec y . Dans toute la suite, on appellera longueur le côté de l'image associé à l'axe X et largeur celui associé à l'axe Y . Les ordres sont considérés comme croissant avec l'axe Y .

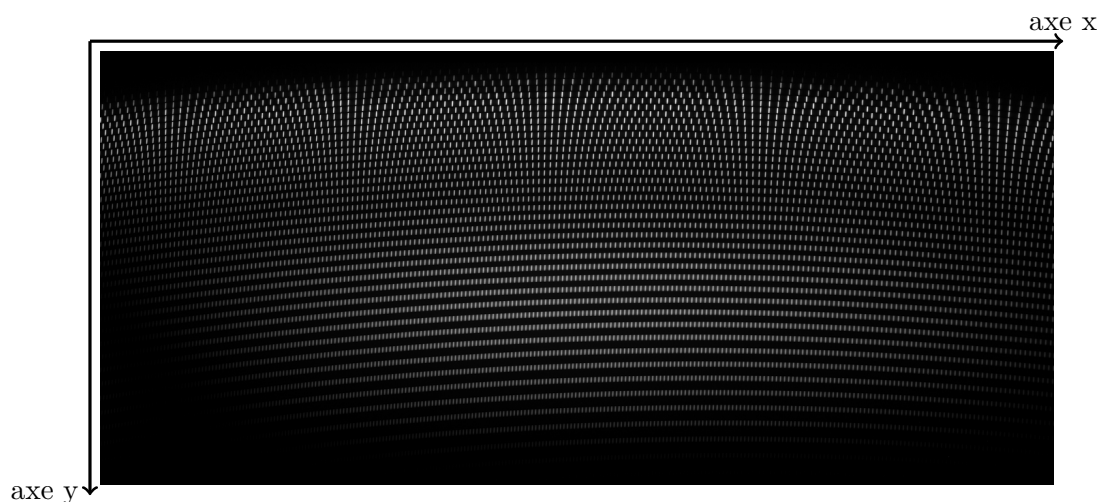


FIGURE 1 – Image du Fabry-Perot.

- un fichier regroupant le positionnement des ordres ainsi que les inter-voies. Ce fichier donne donc accès à l’enveloppe gauche (ou haute, suivant le point de vue) de chaque voie. Ce fichier est une matrice reçue au format .p et est ouverte grâce à cPickle (*./TEMPlane_position.p*). Chaque colonne de cette matrice donne l’enveloppe gauche d’une voie.
- un fichier donnant l’épaisseur de l’enveloppe pour chacune des voies. Il s’agit d’un simple tableau enregistré au format .p avec cPickle (*./TEMP/lane_thickness.p*).
- le nombre de voies présentes sur chaque ordre

L’ensemble des chemins d’accès vers ces fichiers est donné dans le fichier *./DATA/find_fp_slits_DATA.txt*.

2.2 En sortie

Le programme renvoie un fichier au format .p. Il s’agit d’une liste de taille (n x m) (avec m le nombre d’ordres considérés et n le nombre de voies par ordre) dont chaque élément est une liste rassemblant les positions [x, y] de chacune des raies du Fabry-Perot sur une voie. Ce fichier est enregistré dans le dossier *./TEMP/fp_slit_position.p*.

3 L’algorithme en bref

Après avoir ouvert les trois fichiers de données, le programme lance la parallélisation du calcul des positions des raies du Fabry-Perot. En effet, l’intersection entre les différentes voies est vide, la détection des raies d’une voie est donc indépendante de celle d’une autre voie. Une fois l’ensemble des calculs terminé, les résultats sont ensuite concaténés et stockés dans le fichier *./TEMP/fp_slit_positions.p*. La suite de ce document décrit donc précisément la détection des raies pour une seule voie.

Après avoir repéré le bord des voies, le programme commence tout d’abord par repérer grossièrement l’ensemble des raies de la voie. Une fois cela fait, il recherche pour chaque raie son centre de manière précise en fittant les données avec une gaussienne.

4 L’algorithme en détail (une voie)

Les différentes sections suivantes décrivent les étapes successives de la détection des raies sur une voie du Fabry-Perot. Chaque sous-section correspond à une sous-fonction du programme.

4.1 Coupure de la voie sur les bords (*cut_border_edge*)

Pour les ordres les plus élevés (ce cas ne se présente que pour les ordres 59 et 60 avec Narval), la courbure des ordres et la dimension du CCD font que l’ordre peut être coupé par le bas de la caméra. Lorsque l’on traite une voie, il ne faut donc pas l’analyser sur toute la longueur du CCD. Cette méthode permet donc d’identifier les indices de début et de fin de la voie, en exploitant l’information donnée par *lane_position.p*.

Une fois ceci effectué, on peut procéder à la détection à proprement parler. La méthode *fp_centre_global* permet successivement de gérer la détection approximative et le positionnement précis pour l’ensemble de la voie.

4.2 Détection approximative de l’ensemble des raies (*approx_fp_centres*)

Avant de procéder à la détection précise des centroïdes des raies, on effectue un premier repérage grossier (sur X) afin de pouvoir se définir plus tard des zones de recherche. En sommant les pixels selon l’axe Y sur toute la longueur de la voie, on obtient des pics d’intensité correspondant aux raies du Fabry-Perot (cela revient à aplatir la voie sur une seule ligne). Il suffit alors d’isoler les maximums locaux de cette courbe (supérieurs à un seuil) afin d’en déduire les positions approximatives des raies.

De par les arrondis effectués avec l’enveloppe (à l’entier le plus proche), la courbe précédente présente des sauts de valeurs du fond, qui correspondent aux discontinuités de l’enveloppe. Afin de détecter précisément les pics (et pas autre chose qui ne soit pas un pic), il est nécessaire avant toute chose d’aplatir ce fond (figures figure 3 et 4). Pour ce faire, on retire l’offset (ici, la valeur minimale) par plage de 15 pixels sur l’ensemble de la voie. On a ici choisit des fenêtres de 15 pixels car on sait qu’une raie est plus fine que 15 pixels. Ainsi on est sûr de retirer le véritable fond. Nous avons jugé peu judicieux de prendre une fenêtre plus grande

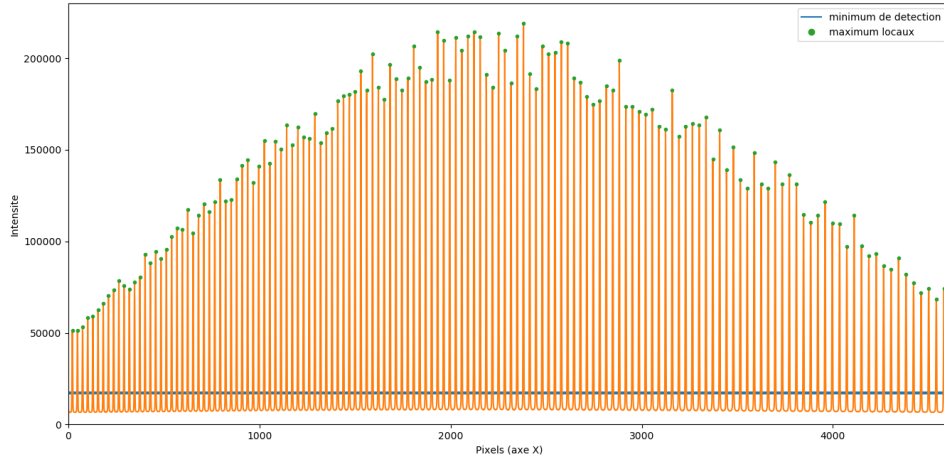


FIGURE 2 – Positions approximatives des raies du Fabry-Perot (axe X)

car les discontinuités se font sur des plages très courtes sur la bordure des ordres (inférieur à 20 pixels). 15 pixels était donc un bon compromis entre la largeur des raies et la fréquence des discontinuités.

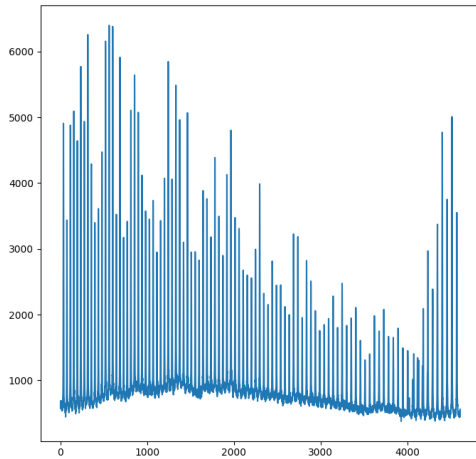


FIGURE 3 – Avant aplatissage du fond

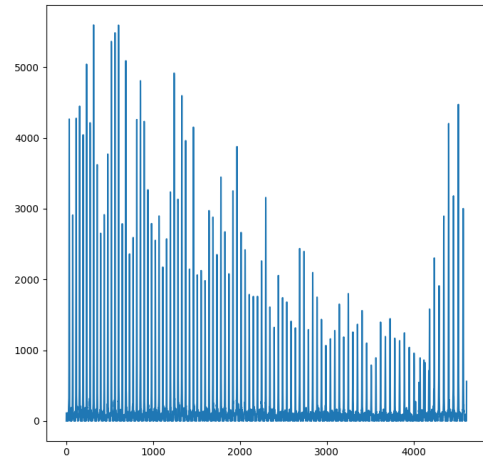


FIGURE 4 – Après aplatissage du fond

Après cela, on peut commencer à détecter les pics. Afin d'être certains de repérer des véritables pics (et non des variations brutales du fond par exemple), la détection des pics se fait en trois passages successifs, chacun affinant les résultats obtenus lors du passage précédent.

- *Passage n°1* : Cette première détection (effectuée avec peakutils) sert à détecter les raies du centre de la voie (les plus lumineuses en tout cas). Pour cela, un seuil de détection est utilisé (faible mais non nul). Grâce à ces premiers résultats, on a ainsi une idée de la distance inter-raies pour cette voie. Si ce premier passage s'avère infructueux (moins de 50 raies détectées), on refait un passage en supprimant le seuil minimal.
- *Passage n°2* : Une fois la distance entre les raies estimée, on refait un passage (avec peakutils), avec le même seuil qu'au passage précédent, et en rajoutant la condition d'écart entre les maxima. On a ainsi une valeur plus précise de l'écart entre deux raies (qui est une moyenne pour la voie, la valeur réelle variant selon X).
- *Passage n°3* : Avant d'effectuer le dernier passage, on repère le premier minimum local de la voie. On le recherche dans une fenêtre d'une longueur égale à 70% de l'écart trouvé auparavant. Avec cette fenêtre on est sûr d'en trouver un (avant une raie ou juste après une raie coupée) Ceci permet de s'affranchir des éventuels effets en bordure de CCD dus à des raies coupées. On cherche ensuite le premier maximum local dans une fenêtre de recherche de la largeur trouvée au passage précédent et dont le premier index correspond au premier minimum. Afin de détecter les raies suivantes, on déplace la fenêtre de recherche le long du CCD. A chaque raie détectée, on met à jour l'écart entre deux raies (le nouvel écart est calculé comme la moyenne entre l'écart précédent et l'écart moyen de la voie entière).

Après ce dernier passage, le programme a normalement repéré toutes les raies de la voie (sauf éventuellement

celles aux extrémités, qui sont coupées par le bord du capteur), et uniquement des raies.

4.3 Positionnement précis raie par raie (fp_centre_local)

Une fois que les raies du Fabry-Perot sont grossièrement repérées, on peut procéder à leur détection précise. Pour cela, on isole une zone de la voie de largeur fixée par les séparations inter-voies et de longueur fixées arbitrairement, centrée sur la position approximative. La longueur de la fenêtre de recherche est pour l'instant fixée à 17 pixels. Cette valeur permet à la fois d'englober toute la raie (d'une largeur de 8 pixels) sans pour autant prendre en compte les raies adjacentes (distantes de 15 à 40 pixels).

4.3.1 Recherche d'une gaussienne (find_gaussian_slit)

De la même manière que pour le positionnement approximatif, on somme sur chacune des colonnes de cette fenêtre de recherche. On cherche alors analytiquement la position de la gaussienne équivalente, ce qui nous donne la position relative du centre de la raie selon l'axe X. On commence tout d'abord par déterminer

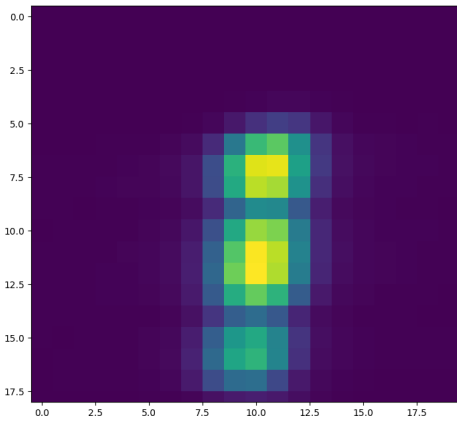


FIGURE 5 – Fenêtre de recherche

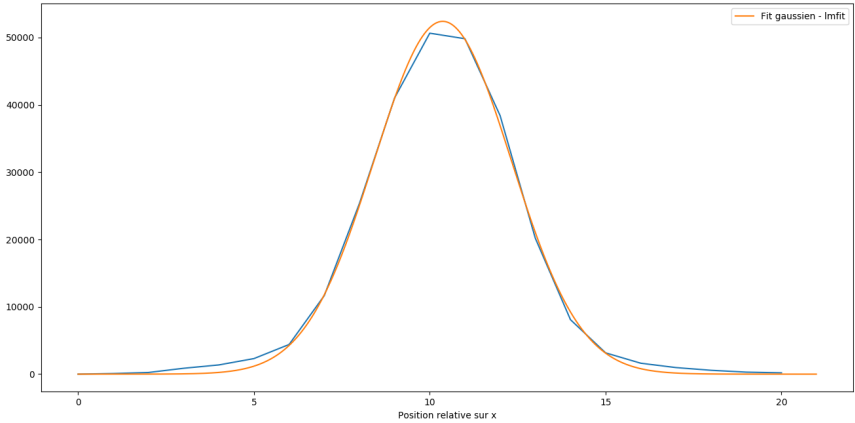


FIGURE 6 – Fit Gaussien - Positionnement sur l'axe X

les paramètres de manière analytique. Ceux-ci servent alors de valeur initiale afin de fitter les données avec un modèle de gaussienne en utilisant la méthode de Levenberg-Marquardt. On a alors le centre précis de la gaussienne équivalente, donc par extension de la raie considérée. Il suffit alors de ramener le résultat obtenu en valeur absolue (et non plus locale).

4.3.2 Positionnement en Y

Pour la méthode utilisée dans les étapes suivantes de la réduction de donnée, le positionnement sur Y des raies n'est pas d'une grande utilité. Seules les enveloppes précises des voies sont utilisées. Par conséquent, le positionnement en Y n'a a priori pas d'utilité propre. C'est pour cela que la méthode employée n'est pas aussi précise que pour le positionnement sur X.

On se place sur la colonne centrale de la raie (repérée précédemment) et on fait une recherche des pics. De part le slicer, on devrait trouver 3 pics (dans le cas d'une configuration à 2 voies par ordre), correspondant aux trois morceaux de la fibre. Il suffit alors de repérer le pic central. Cette méthode n'étant pas du tout précise, on préfère ensuite prendre la moyenne sur l'ensemble de la voie des positions en Y (locales, cad par rapport à l'enveloppe de la voie) afin d'avoir des valeurs plus cohérentes.

4.4 Fit des positions et améliorations des résultats (fit_deviation)

La méthode appliquée est extrêmement efficace sur les ordres les plus lumineux. En revanche, sur le bord des ordres les moins lumineux, les résultats sont bien moins satisfaisants. L'une des explications est que le rapport signal/bruit diminue beaucoup dans ces zones par rapport au centre. L'idée est alors d'appliquer un fit polynomial sur la voie afin de corriger les erreurs commises au bord.

On a la différence en longueur d'onde entre deux pics successifs du Fabry-Perot :

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2n_g l \cos(\theta) + \lambda_0}$$

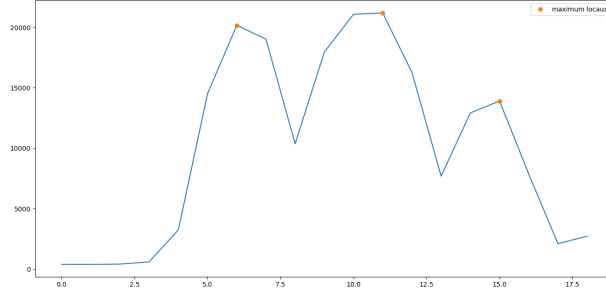


FIGURE 7 – Raie vue en coupe selon sa colonne centrale

avec λ_0 la longueur d'onde du pic le plus proche et n_g l'indice de groupe ($n_g = \frac{n}{1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda}}$).

On a par ailleurs la formule du réseau :

$$\sin(\beta) = \frac{Gm\lambda}{\cos(\gamma)} - \sin(\alpha)$$

avec $G = 79 \text{ traits/mm}$, m l'ordre considéré ($22 \leq m \leq 61$) et $\gamma = 0.6^\circ$ l'inclinaison du réseau.

Ceci nous donne donc Δp l'écart en pixels (pour des pixels de $12\mu m$) :

$$\Delta p = \frac{f}{12\mu m} \beta_1 - \beta_0 = \frac{f\Delta\beta}{12} = \frac{Gmf\Delta\lambda}{12\cos(\gamma)\cos(\beta_0)}$$

En posant $\epsilon = \frac{Gm\lambda_0}{\cos(\gamma)} - \sin(\alpha)$, on a donc : $\Delta p = \frac{Gmf}{12\cos(\gamma)} \Delta\lambda(1 + \epsilon)$. Ainsi on a Δp avec une dépendance du type $a + bx + cx^2 + \frac{dx^3}{1+ex}$ en λ .

On s'intéresse donc non plus à la position des raies du Fabry-Perot mais à l'écart entre deux raies successives. On peut alors effectuer un fit polynomial sur cet écart (avec la méthode des moindres carrés), avec un polynôme de la forme que Δp . Le problème est que le fit est effectué alors qu'une part non négligeable des données (les bords de la voie) est incorrecte. Par conséquent le fit effectué ne convient généralement pas (figure 8).

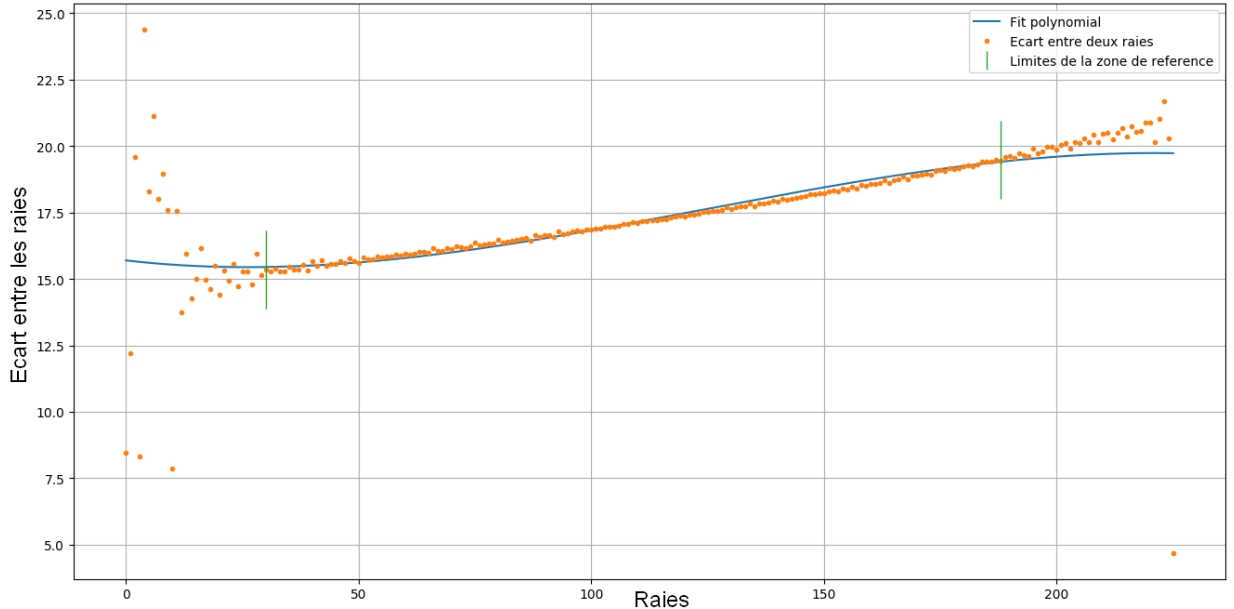


FIGURE 8 – Ecart en longueurs d'onde entre les raies - Premier fit

Deux cas sont alors possibles : soit la voie est bien lumineuse et le positionnement a été correctement effectué sur l'ensemble de la voie soit la voie est peu lumineuse (en tout cas en bordure). Dans le cas 1, on laisse comme ça, on ne touche à rien. Sinon, on va essayer d'améliorer les résultats. On décide que l'on est dans le premier cas si la déviation standard des 80% écarts au fit les plus faibles est inférieure à 0.05. Si ce n'est pas le cas, on isole la meilleure partie de la voie en terme d'écart au fit (70% de la voie si l'écart-type est inférieur à 2, 50% sinon). On effectue alors à nouveau un fit avec le même type de polynôme en utilisant cette fois-ci

que la meilleure partie de la voie, que l'on prolonge ensuite sur l'ensemble de la voie (voir figure 9. Les positions des écarts en dehors de la zone de référence sont alors changées afin de les faire correspondre au nouveau fit. Ainsi, les positions des raies du Fabry-Perot des ordres les moins lumineux sont donc interpolées sur les bords des voies.

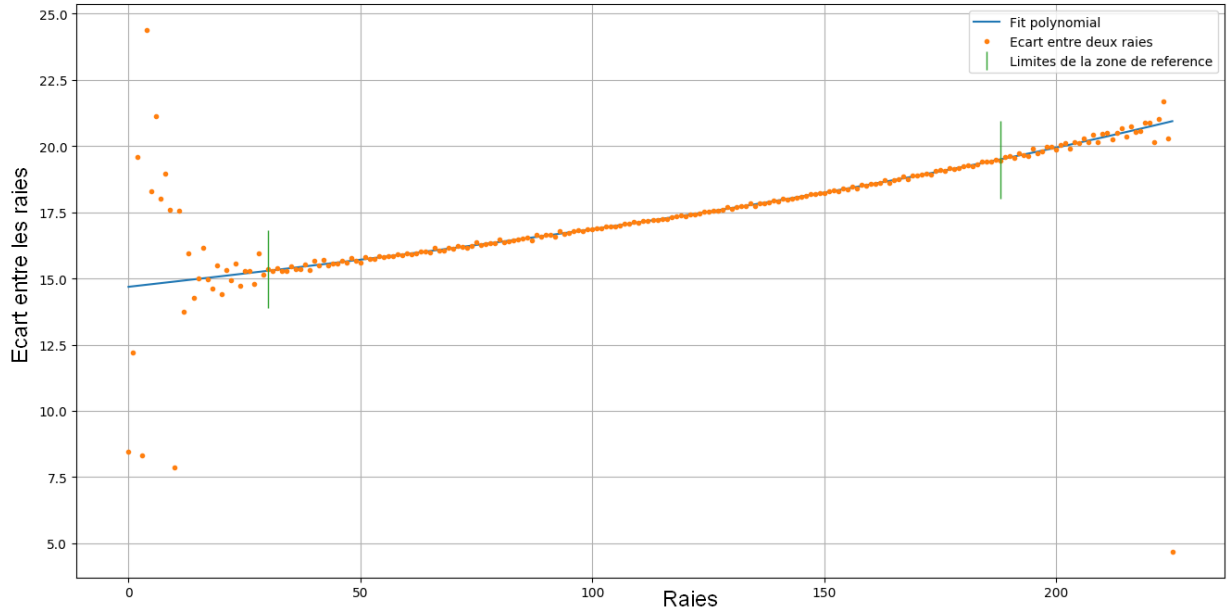


FIGURE 9 – Ecart en longueurs d'onde entre les raies - Second fit

Lorsqu'on s'intéresse à l'image entière et non plus à une voie, on constate que les ordres sur lesquels on commet le plus d'erreur sont les moins lumineux (tous premiers et les derniers), et aussi que le second fit améliore grandement les résultats obtenus sur ces ordres (voir figure 10)

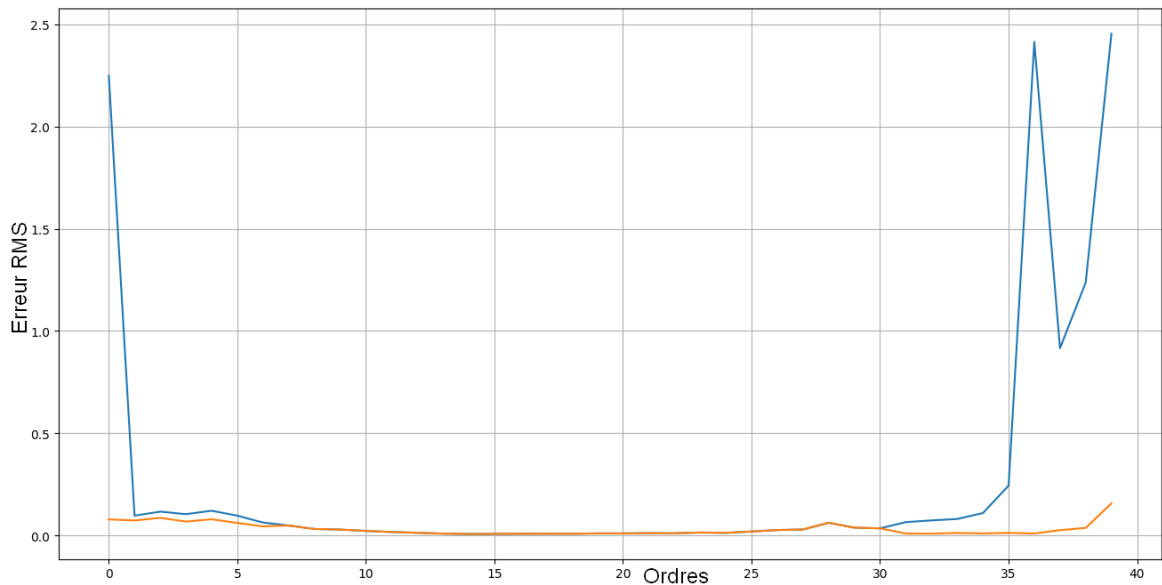


FIGURE 10 – Comparaison erreur RMS suite au fit (bleu :1 fit, orange :2)

Comme on peut le voir sur la figure 11, l'erreur résiduelle suite au fit est inférieure à 0.06 pixels (sauf ordres extrêmes), ce qui permet d'obtenir une erreur RMS global de l'ordre de 0.02 pixels. Cela correspond à une erreur de 52 m/s sur le positionnement absolu.

4.5 Construction finale du tableau de données (tab_pos_construct)

Une fois les positions des raies du Fabry-Perot calculées précisément (et interpolées si nécessaire), il suffit alors de construire un tableau rassemblant à la fois les coordonnées en X et en Y (que l'on passe à ce moment

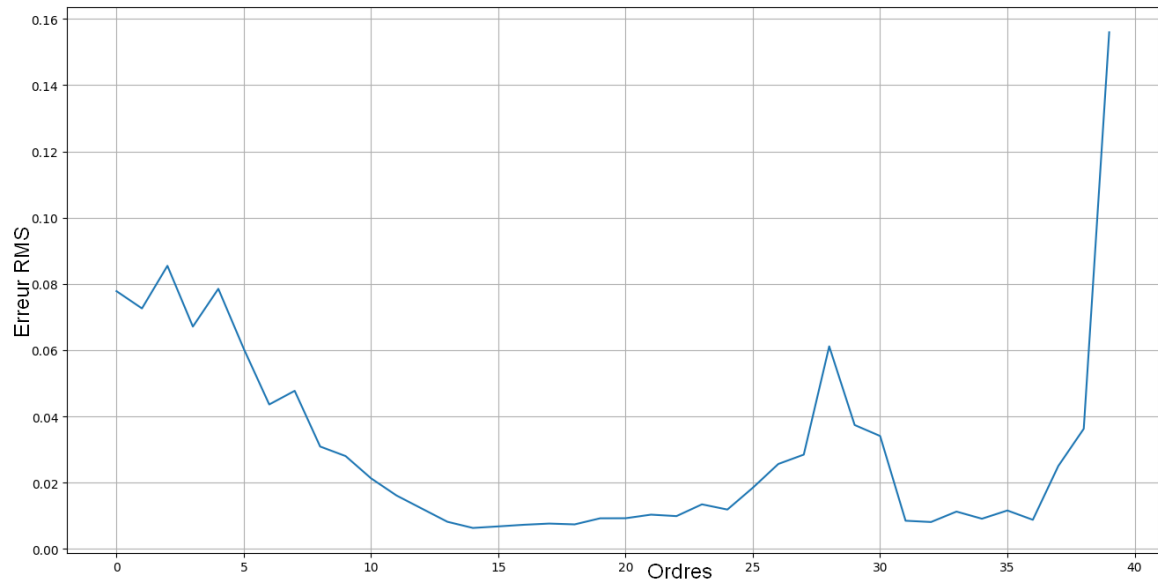


FIGURE 11 – Erreur RMS suite au fit (2 fits successifs)

là en absolu), en prenant simplement garde à ce que les positions calculées grâce au fit ne dépassent pas des bords de la voie.