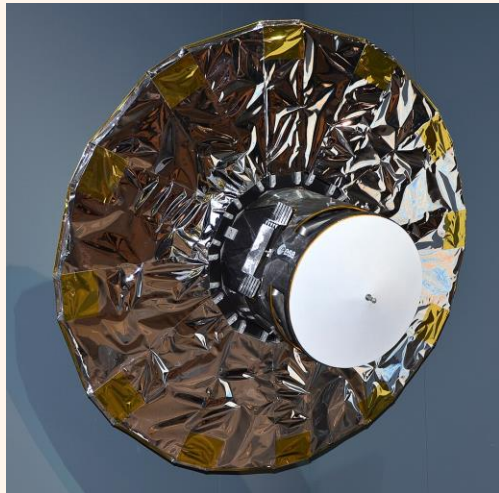
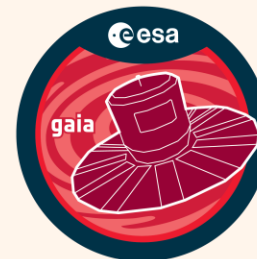




Recherche de lentilles avec le satellite Gaia

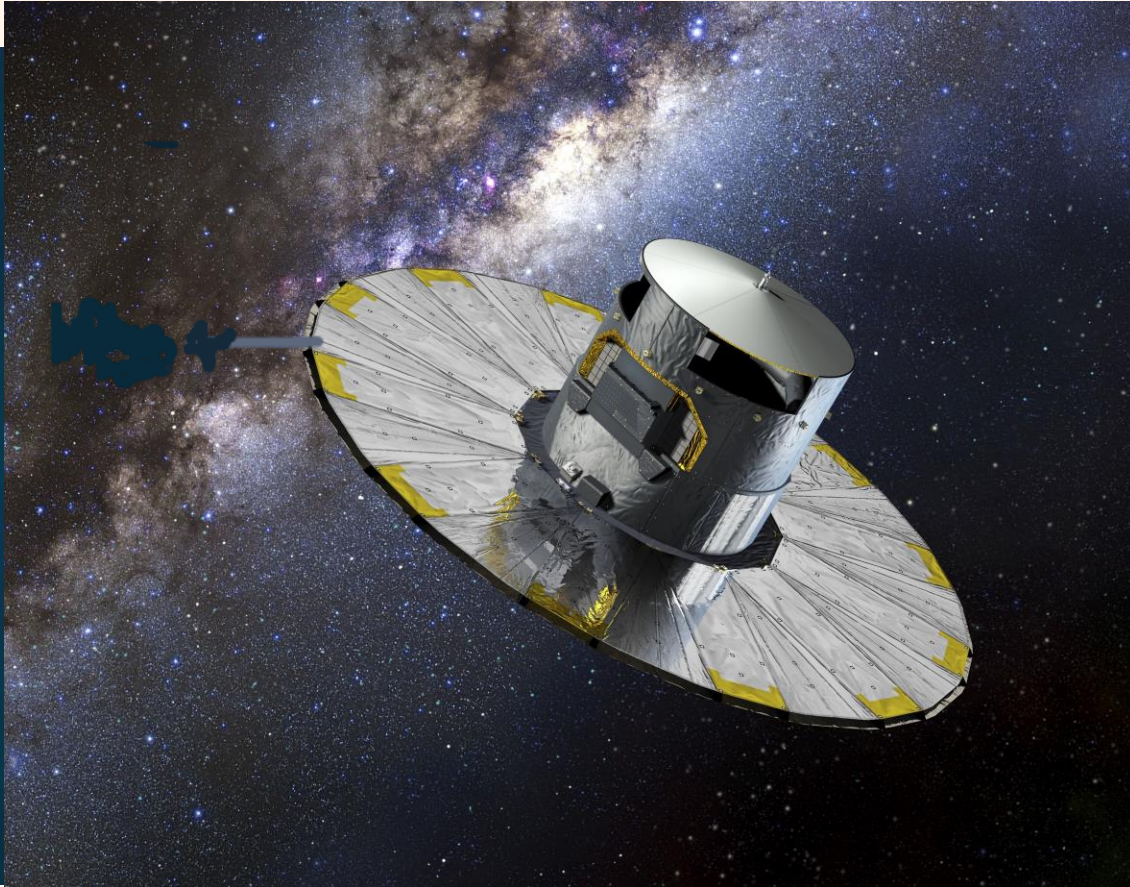
— Mesure des retards



Sommaire

- Introduction
 - Gaia
 - Les lentilles gravitationnelles
 - Retard et contrainte sur H_0
- Le code :
 - Les données d'observations
 - Mise en forme des données
 - Calcul du retard
- Validation
- Conclusion

Gaia



Gaia ESA

- 1,8 milliard d'étoiles et d'objets extragalactique
- 4.7 millions de quasars (≈ 100 mesures de flux sur 4 ans)
- Potentiellement des milliers de lentilles

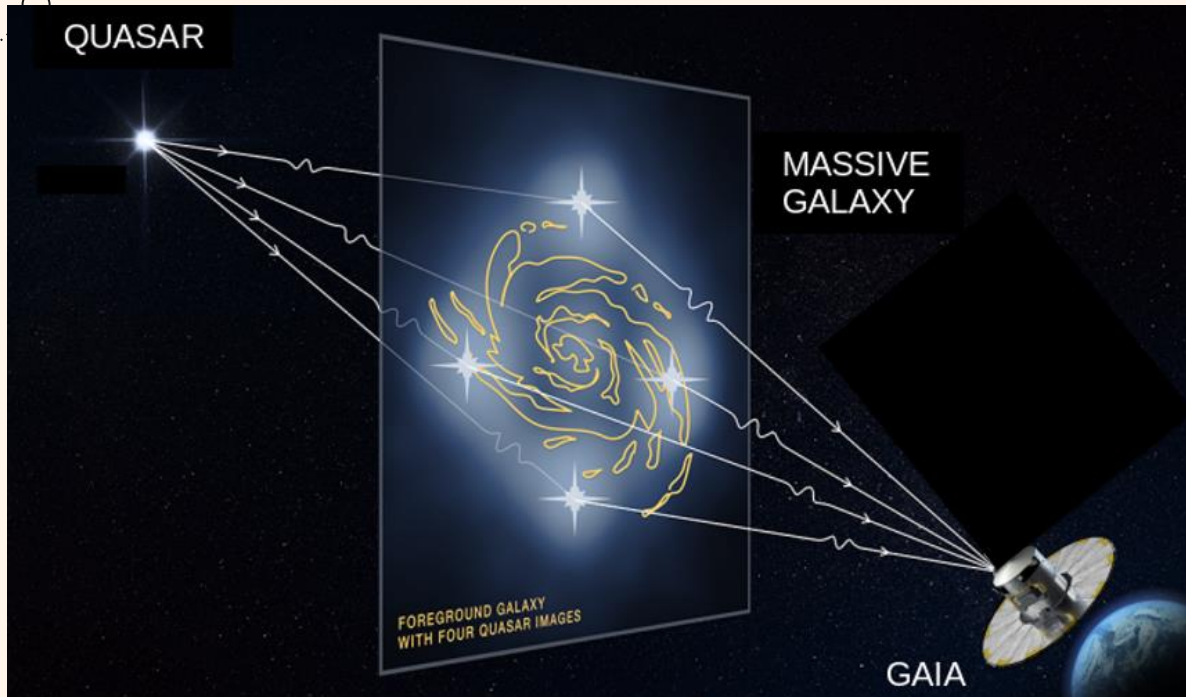
Quasar:

- Trou noir supermassif
- Variation de luminosité du disque d'accrétion utilisée pour calculer les retards

Les lentilles gravitationnelles

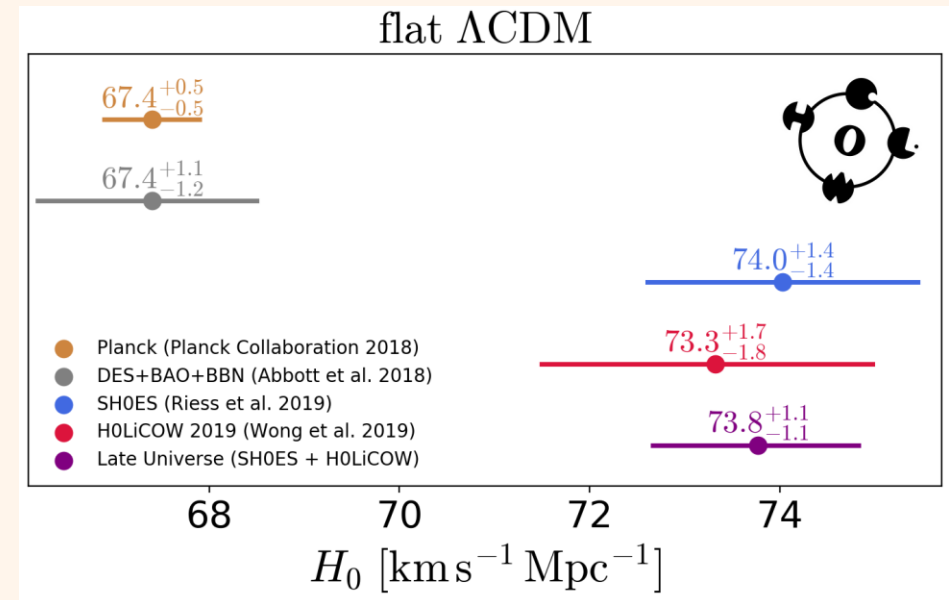
Objectif : Avoir une nouvelle valeur intermédiaire et indépendante de H_0

Schéma d'une lentille gravitationnelle



Nasa / ESA

La galaxie massive de premier plan va dévier la lumière du quasar d'arrière plan pour faire paraître 2 à 4 images de ce dernier



Wong +2020

Deux valeurs de H_0 semblent se dégager:
 $67 \text{ km.s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$
 $73 \text{ km.s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$

Retard et contrainte sur H_0

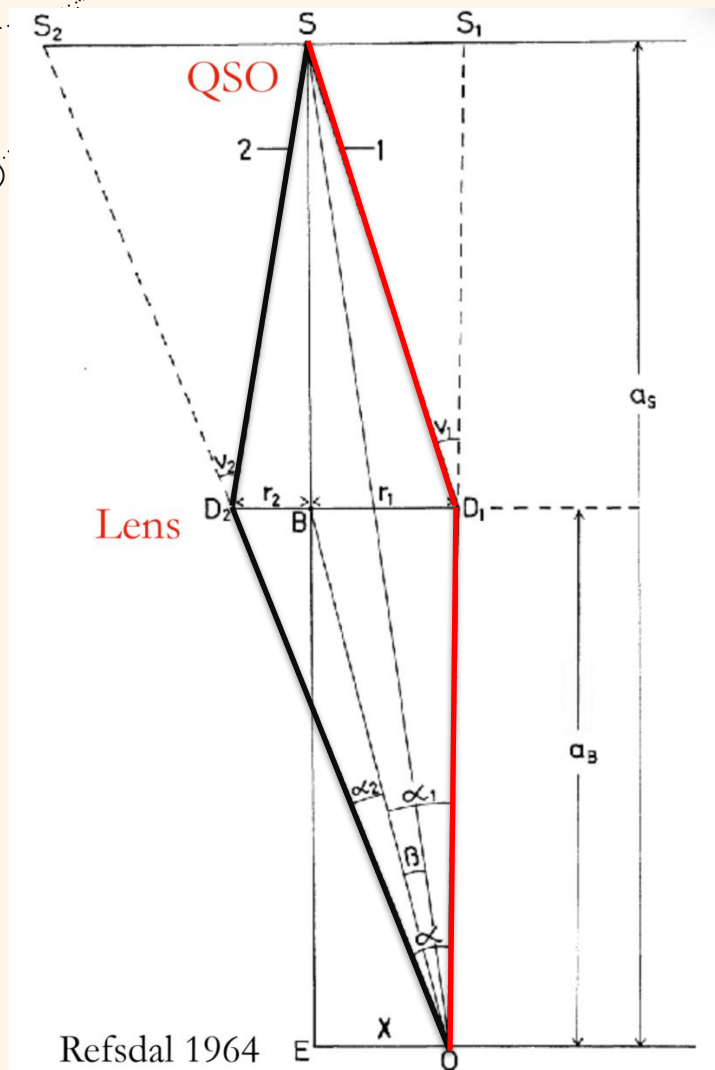


FIG. 1.—The two light rays from S to O.

$$\Delta t = \frac{(SD_2 + D_2O) - (SD_1 + D_1O)}{c}$$

Redshifts : Décalage Doppler vers le rouge.

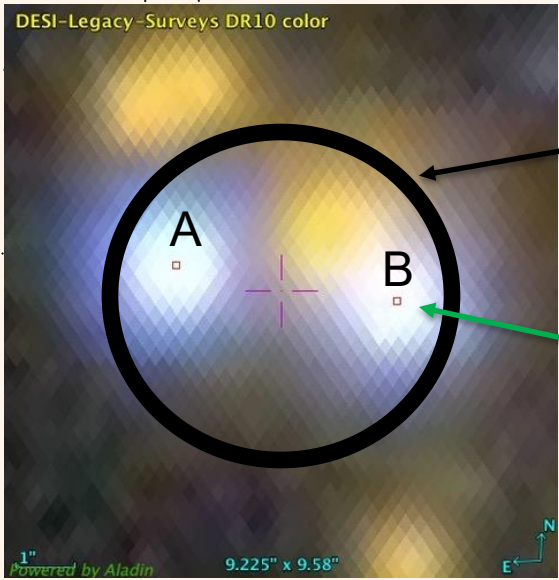
$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

Pour $z \ll 1$ alors

$$D \approx \frac{v}{H_0}$$

Avec D les différentes distances à calculer
v la vitesse d'éloignement de la galaxie

Les données d'observations : Introduction



Champ identifié par un
source_id

Image du quasar lentillé (A,B)
(composantes), identifiée
par un lensComponentSourceId

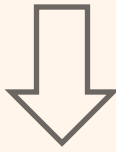
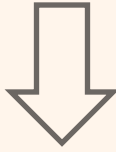
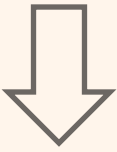
C. Ducourant et al.: GraL - A database
of gravitationally lensed quasars

Identifiant Champ

Identifiant composante

Flux en
électrons.s⁻¹

Date julienne



	source_id	lensComponentSourceId	flux_obs	flux_obs_error	epoch_obs_jd
1	4813484717527554560	4813484717527554627	598,92889	8,31786	2,457381E6
2	4813484717527554560	4813484717527554627	593,12952	7,70886	2,457409E6
3	4813484717527554560	4813484717527554627	545,34351	10,85174	2,457758E6
4	4813484717527554560	4813484717527554627	475,10236	8,55691	2,457003E6
5	4813484717527554560	4813484717527554627	549,29791	7,86393	2,457816E6

Les données d'observations : Sélection

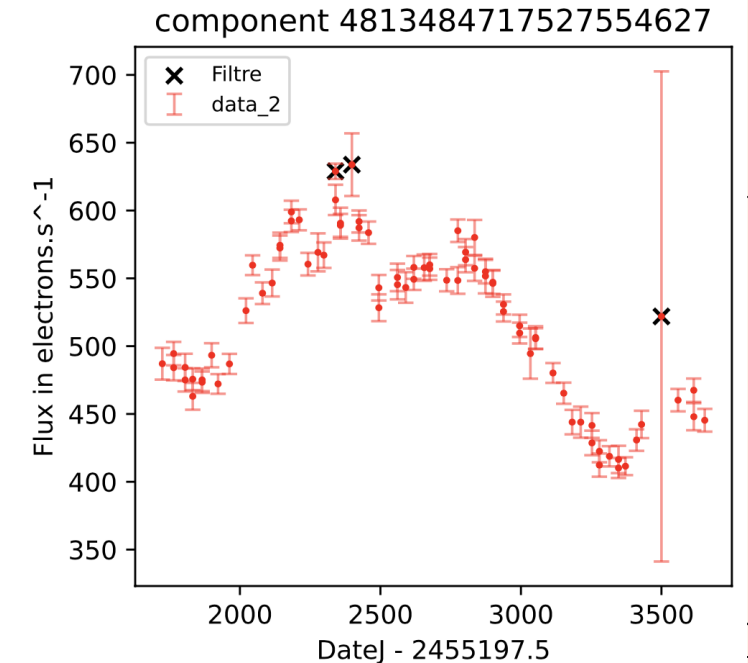
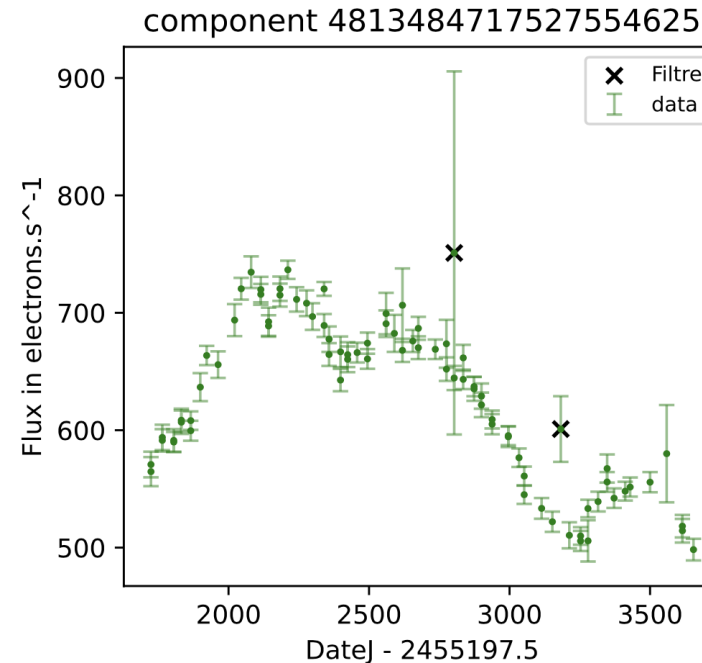
Sélection des données :

- Au moins 2 composantes
- Au moins 20 observations dans une composante

Filtrage :

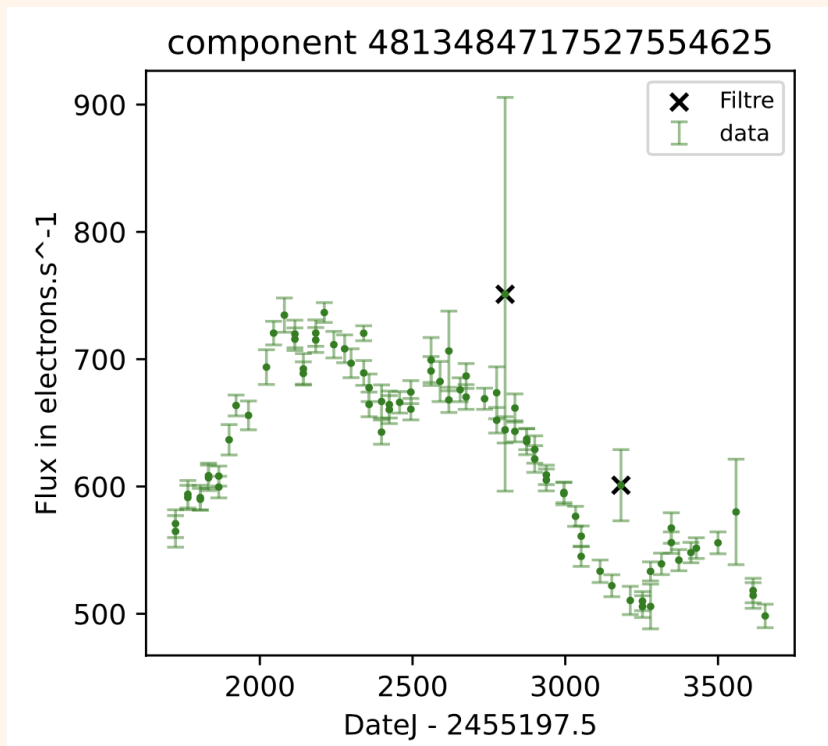
- Filtre 4σ
- Signal /bruit
- Filtre MZS (moving z-score)
- Détection discontinuités dans une série temporelle

Sélection d'un champ



Mise en forme des données : Groupement des données

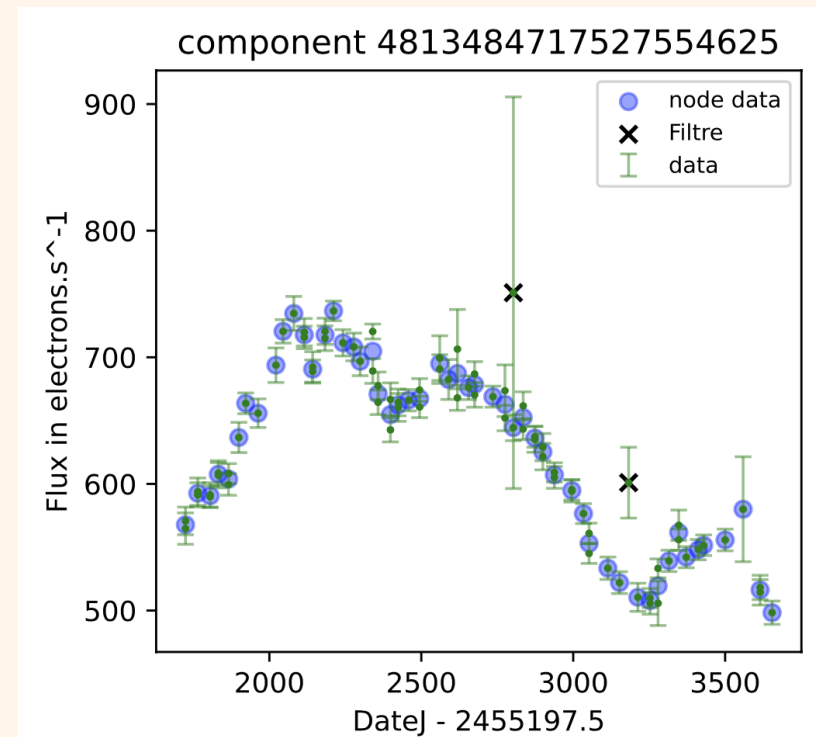
Exemple sur une
composante



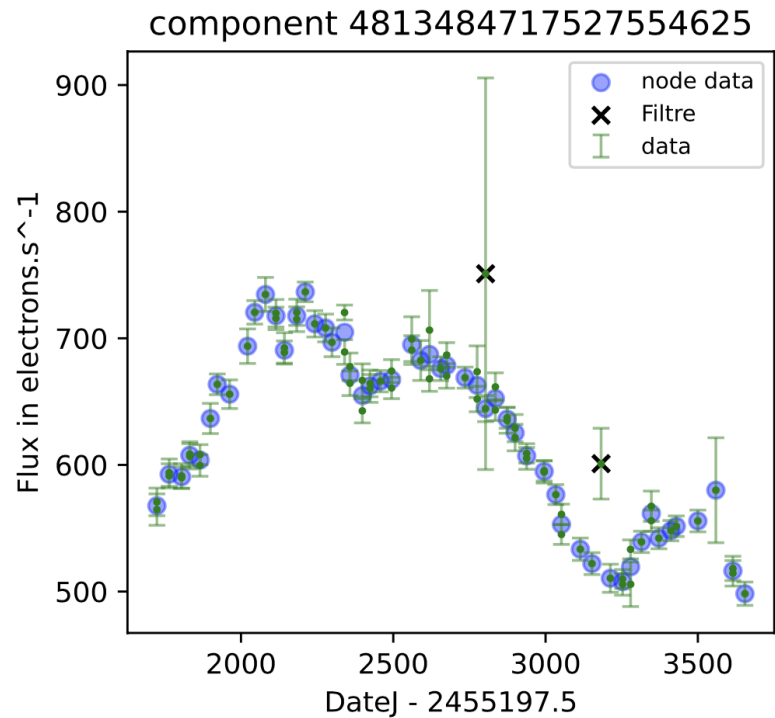
Groupement des données

Boîte de 2 jours:

- S'il y a plusieurs observations, alors prendre la moyenne des flux et la moyenne de la date
- Sinon, ne rien faire.



Mise en forme des données : Normalisation

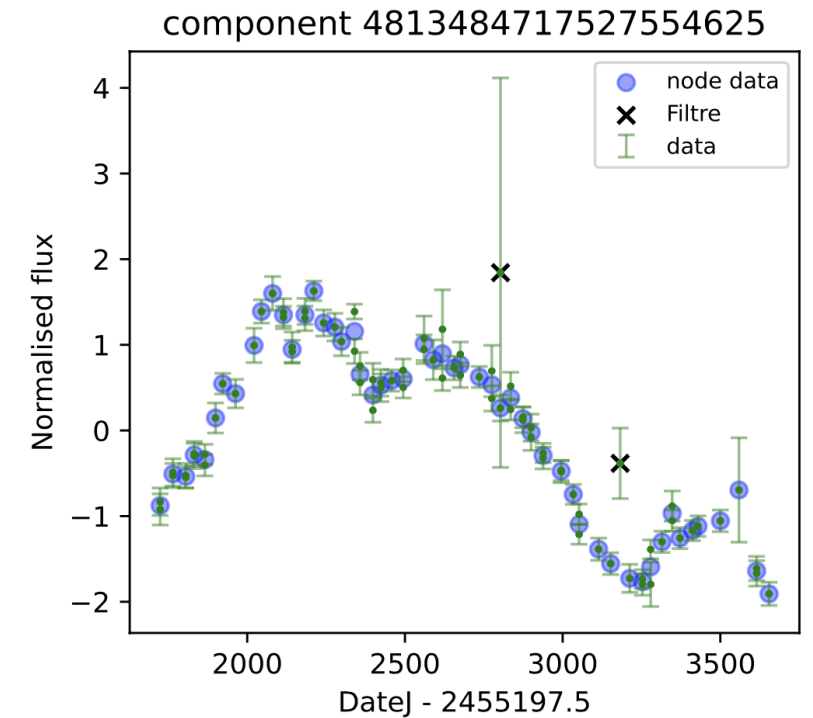


Normalisation

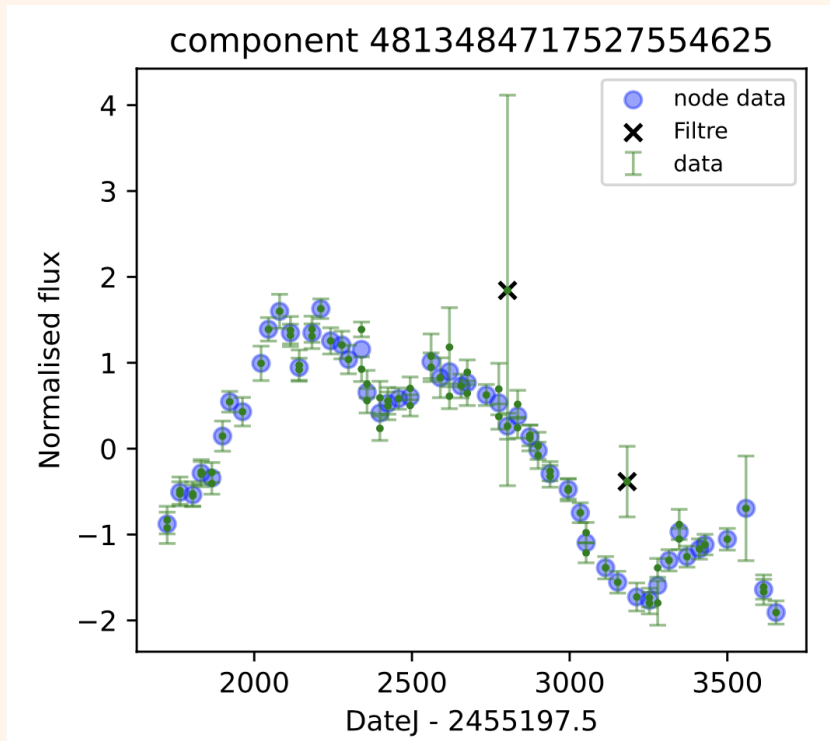
$$Flux_normalise = \frac{Flux_i - moyenne(Flux)}{ecart_type(Flux)}$$

But:

-Comparer les courbes des deux
composantes

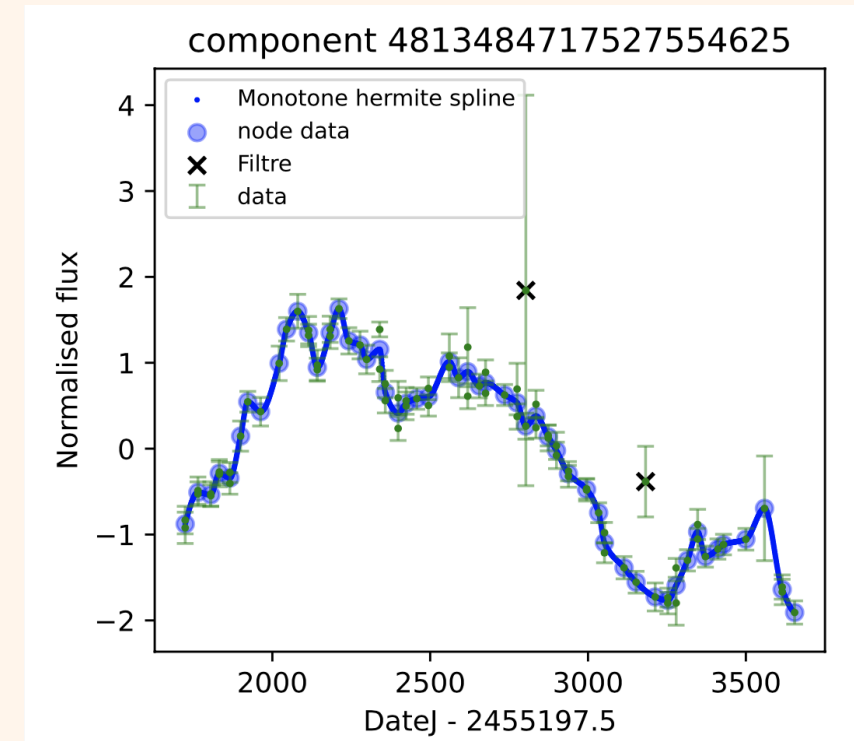


Mise en forme des données : Spline



Spline Hermite monotone

But:
-Echantillonner nos données
tous les jours
Autres splines testées:
-1D smoothing
-Cubique hermite
Résultats non concluant



Calcul du retard

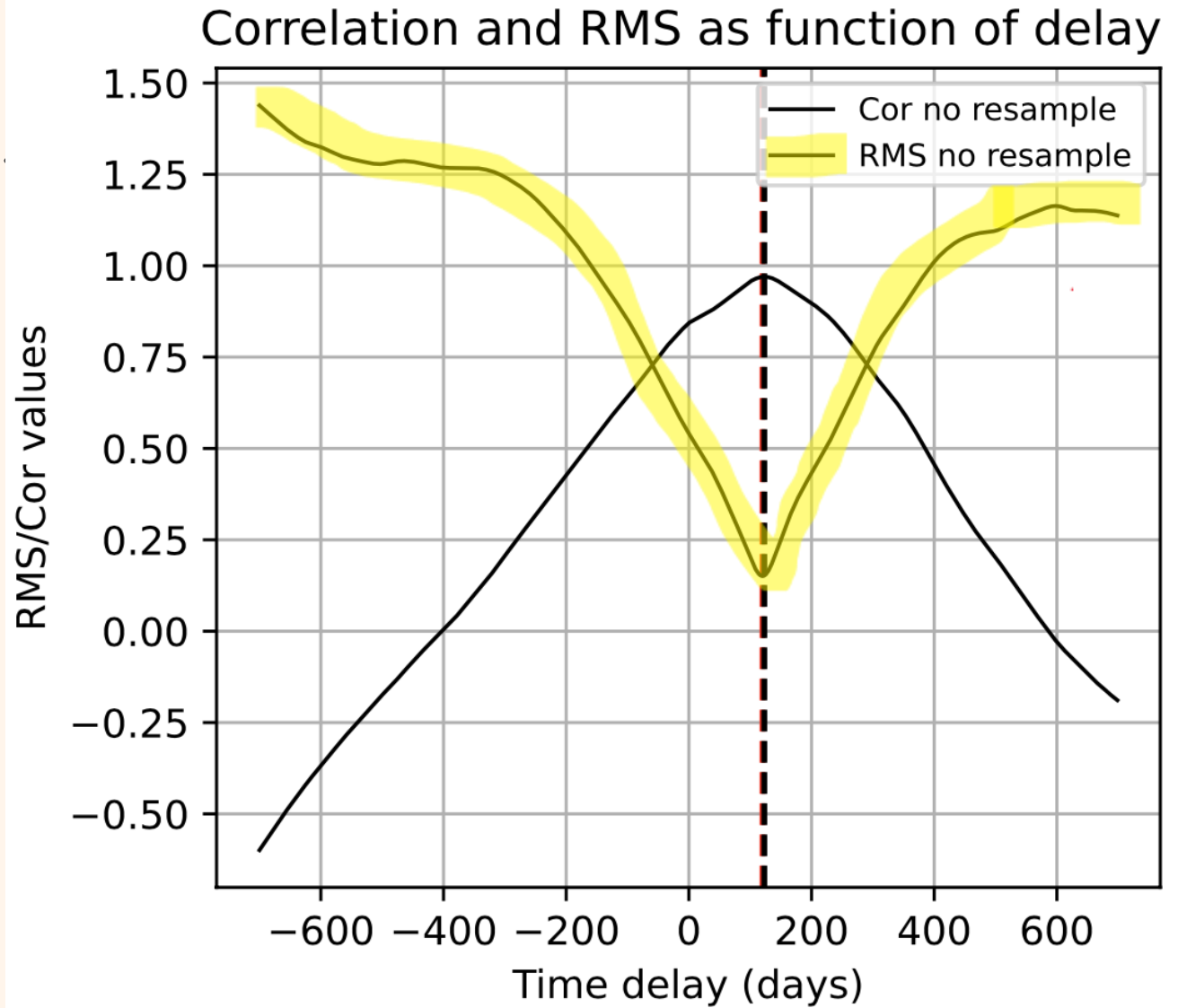
Deux méthodes d'estimation:

-RMS

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (spline_1 - spline_2)^2}{nb_points}}$$

-Corrélation

$$Cor = \frac{\sum spline_1 \times spline_2}{nb_points}$$

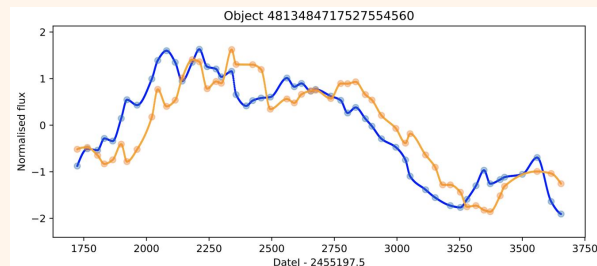


Calcul du retard

Deux méthodes d'estimation:

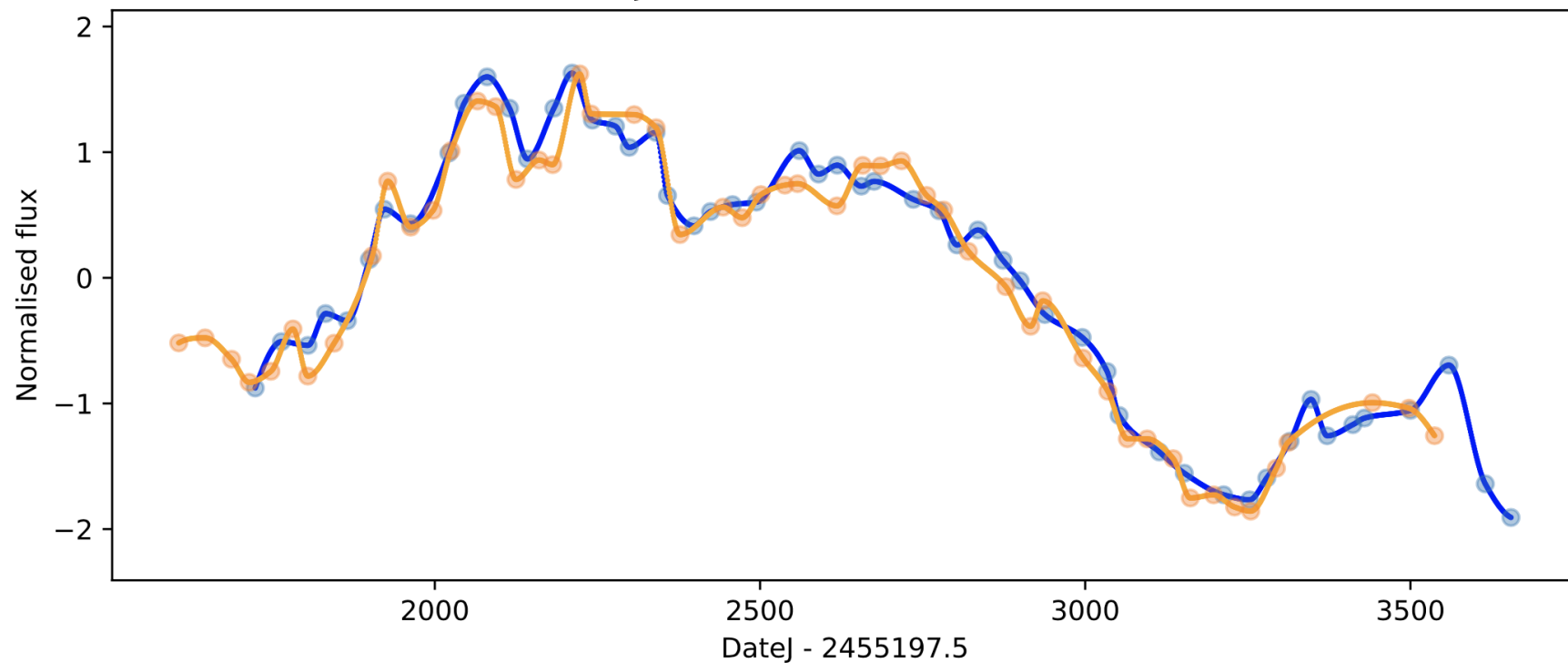
-RMS : Retard de 120j

-Corrélation : Retard de 123j



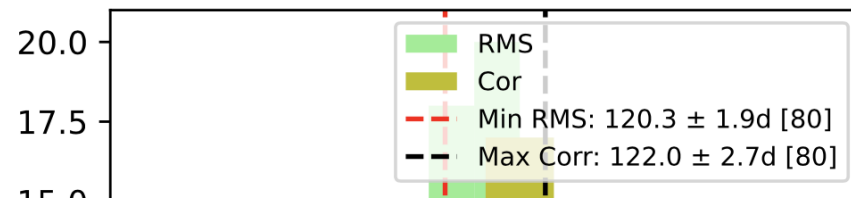
Courbe recalée avec le retard trouvé

Object 4813484717527554560

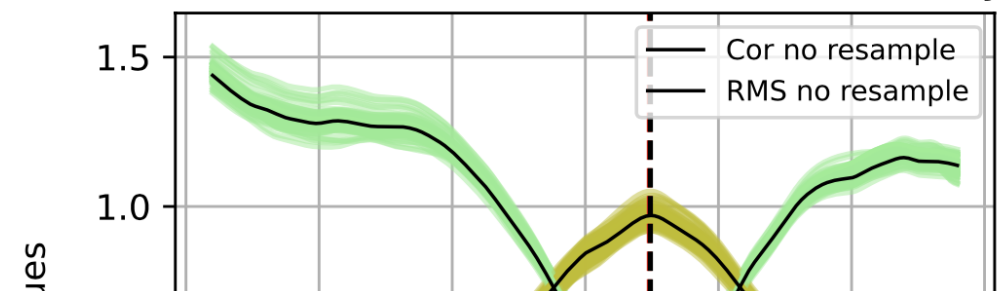


Calcul du retard : Estimation des erreurs

Histogram of correlation and RMS as function of delay



Correlation and RMS as function of delay



Jackknife
Monte-Carlo

Filtrage

Groupement
des données

Normalisation

Passage d'un
spline

Calcul d'un
retard

Stockage des
résultats

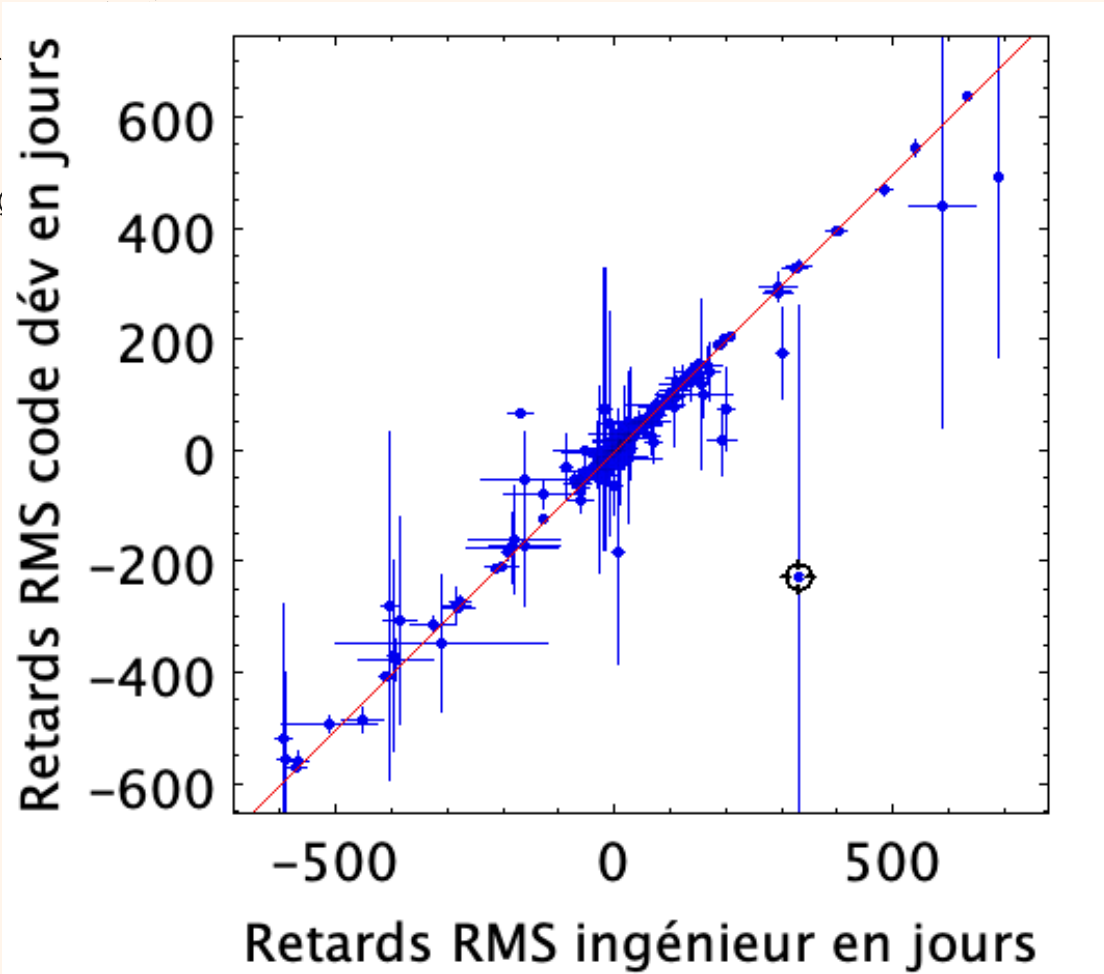
80 tirages

Time delay (days)

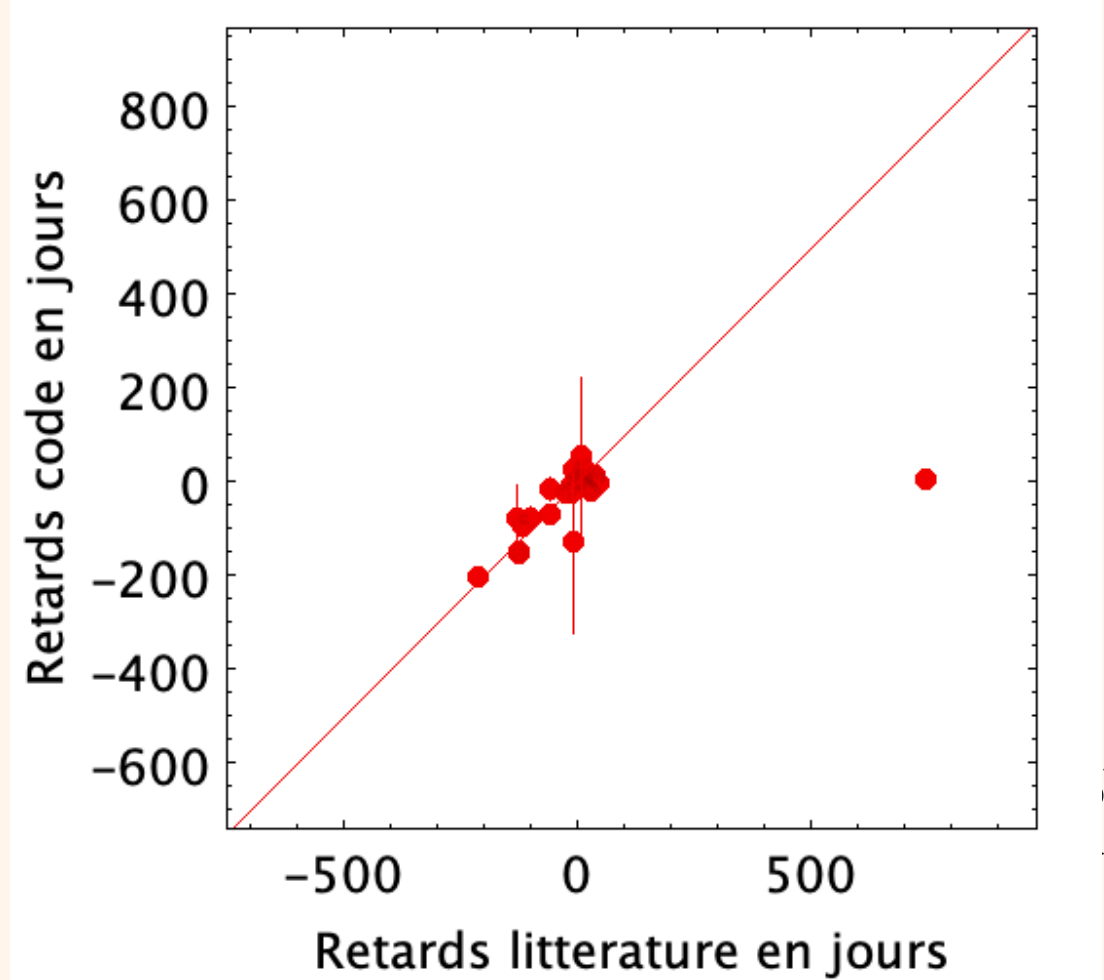
Time delay (days)

Validation

Comparaison ingénieur à mon code



Comparaison littérature à mon code



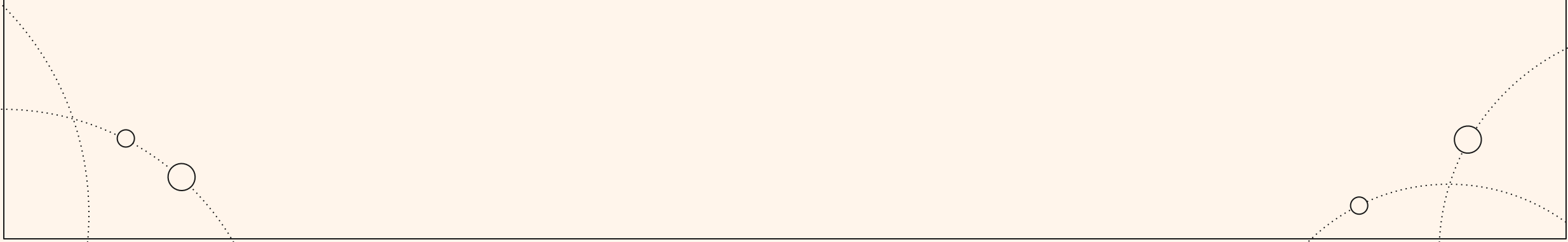
Résultat satisfaisant
Quelques points hors
de la droite

Conclusion

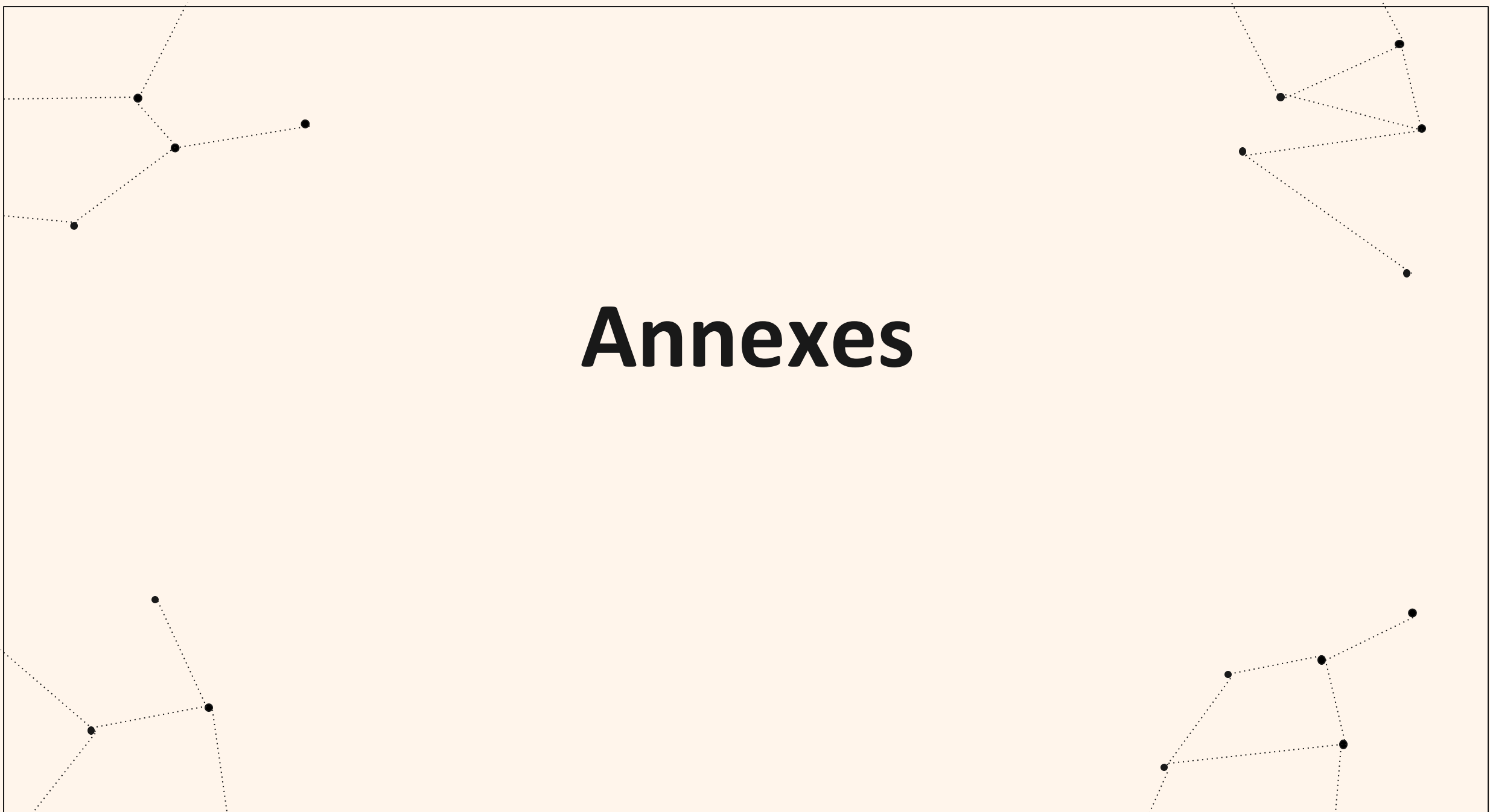
- Lentilles gravitationnelles
- Développement d'un code moderne en python
- Automatisation du traitement des retards
- Nouvelle valeur intermédiaire et indépendante de H_0 à venir

Ouverture:

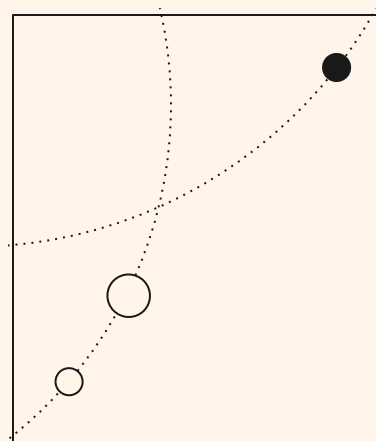
- Approfondissement d'autres méthodes de calcul (spline unique pour les deux composantes)
- Optimisation du temps de calcul



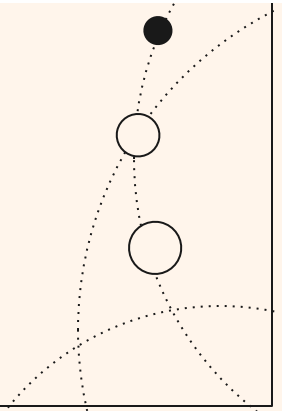
Annexes



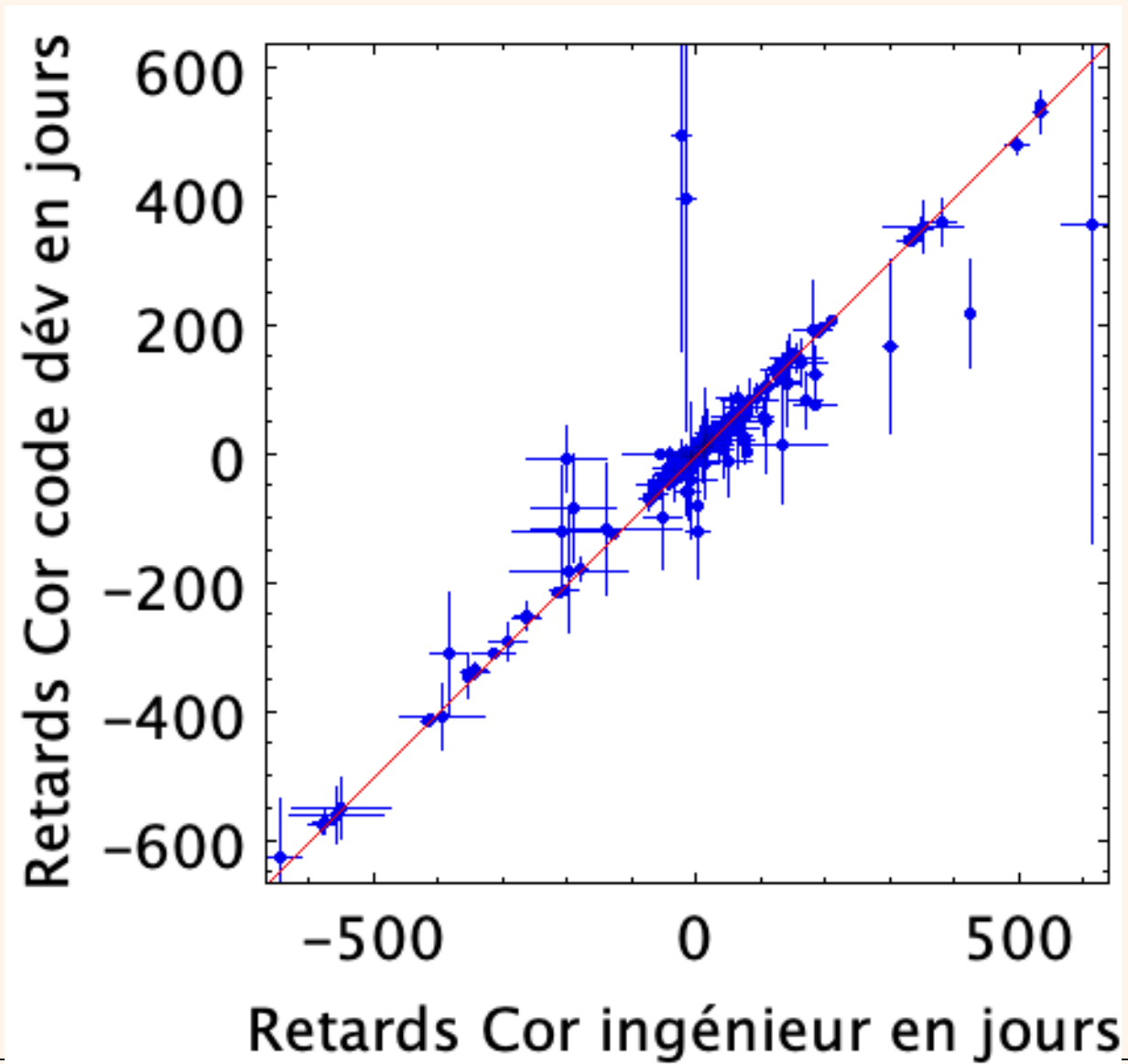
Distance taille angulaire



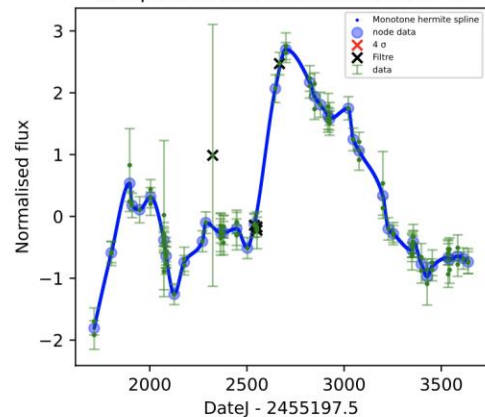
$$D_A = \frac{c}{H_0(1+z)} \int_0^z \frac{1}{\sqrt{(1+z')^2(1+\Omega_m z') - z'(2+z')\Omega_\Lambda}} dz'$$



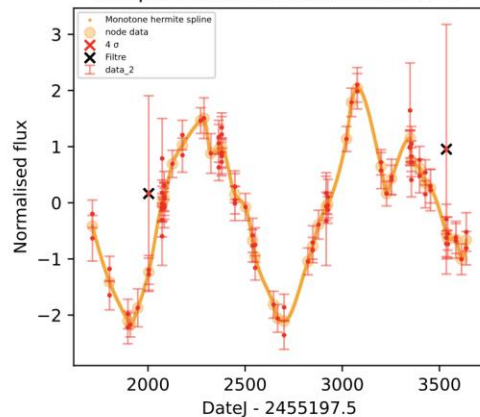
Corrélation



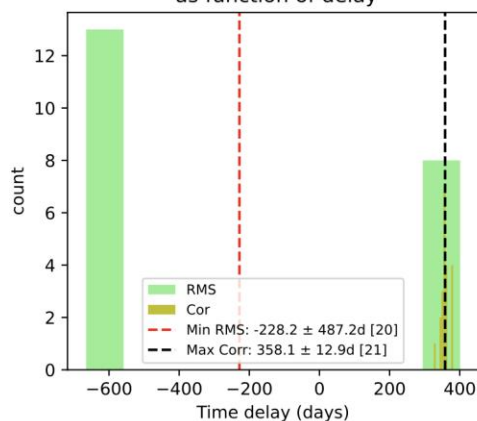
component 6511169561743297345



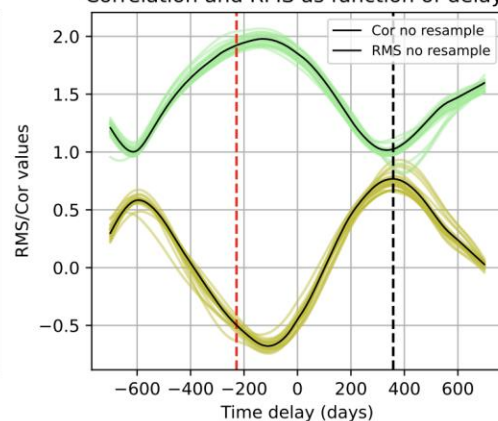
component 6511169561743297347



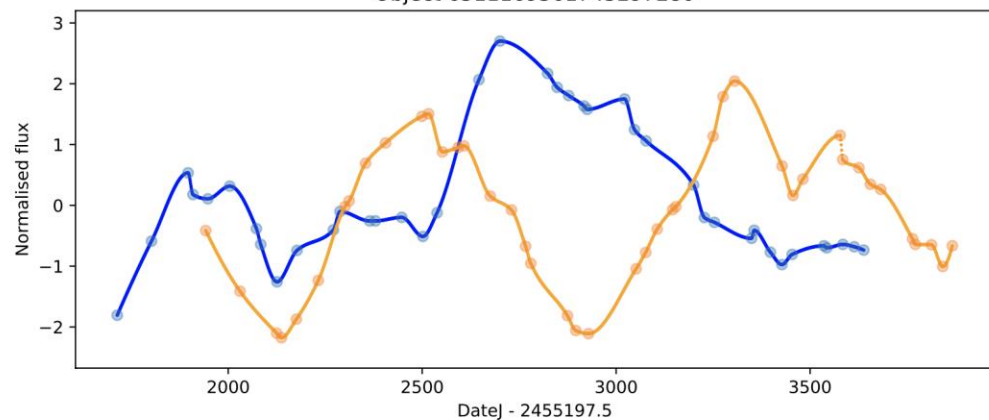
Histogram of correlation and RMS as function of delay



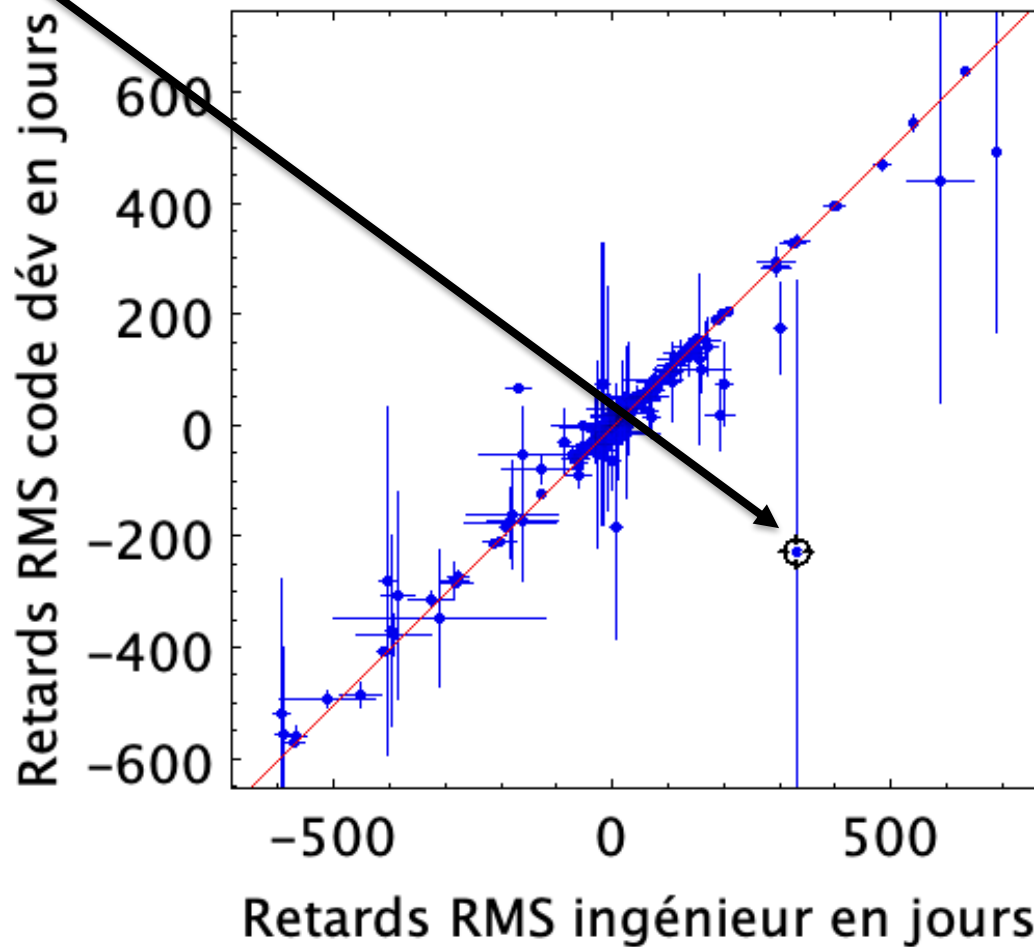
Correlation and RMS as function of delay

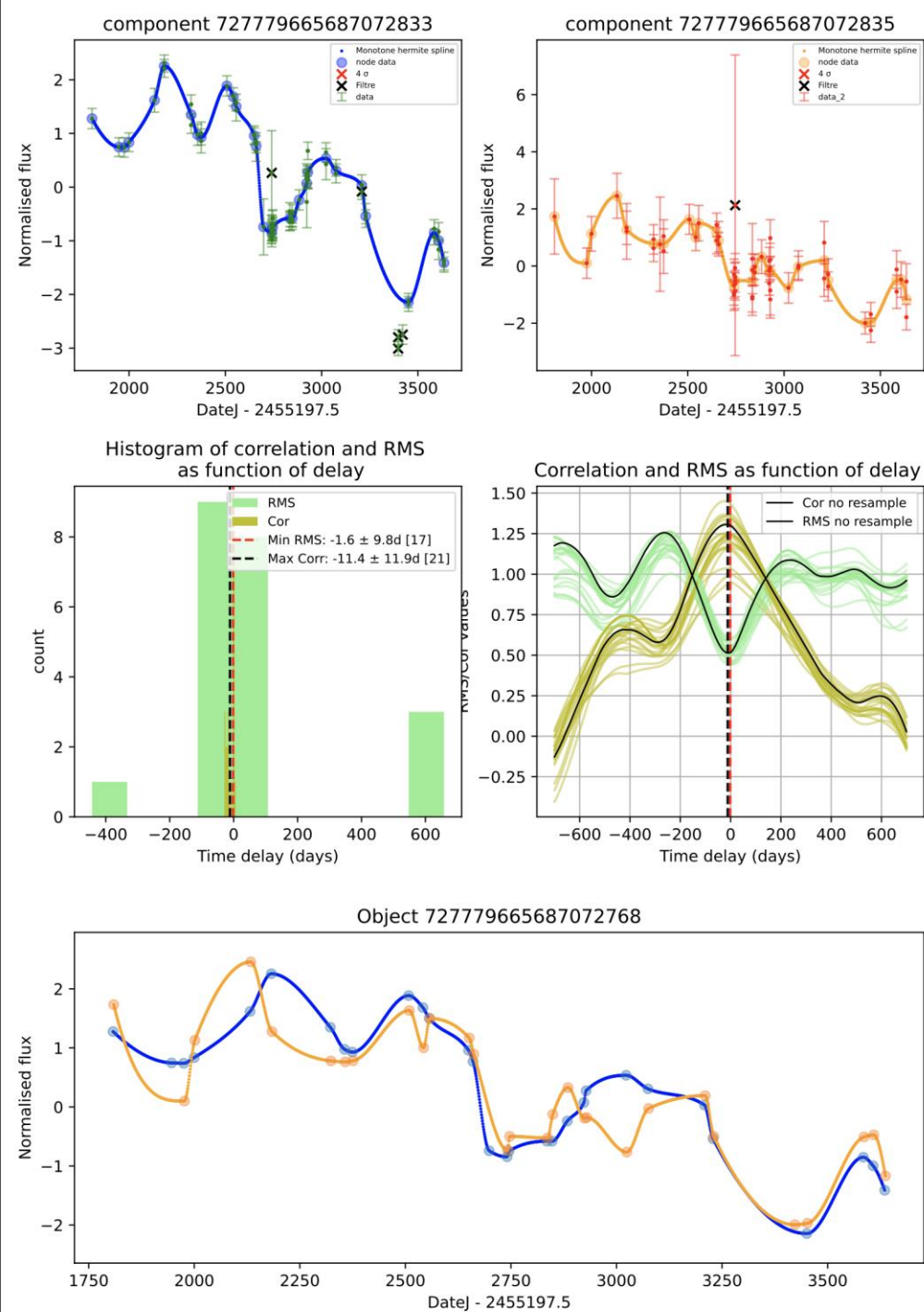


Object 6511169561743297280

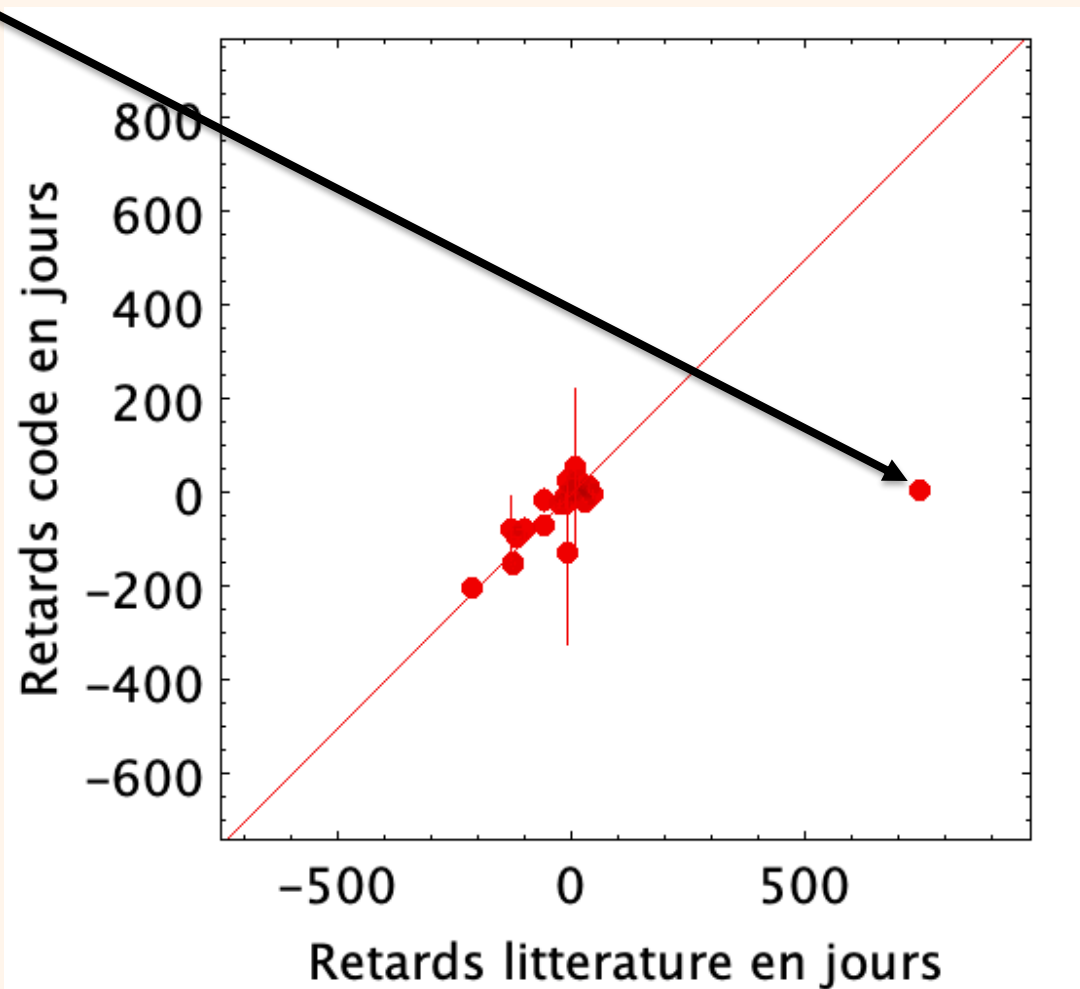


Point aberrant





Point aberrant

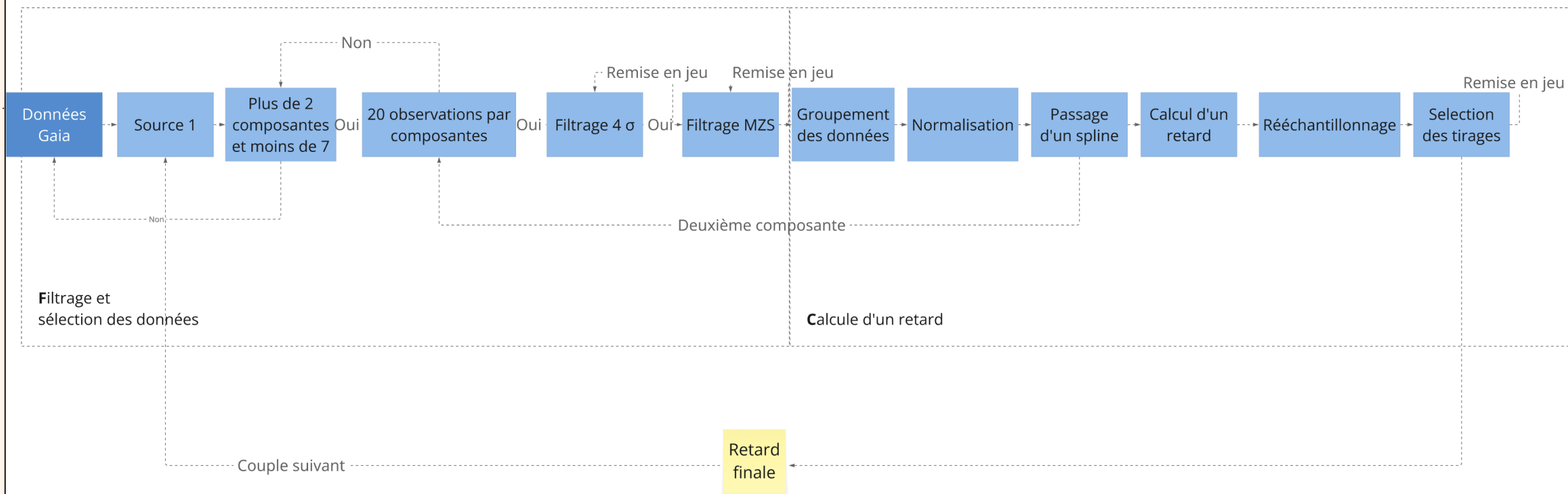


Quelques images de lentilles



The GraL Collaboration/ [ESA](#).

Le code



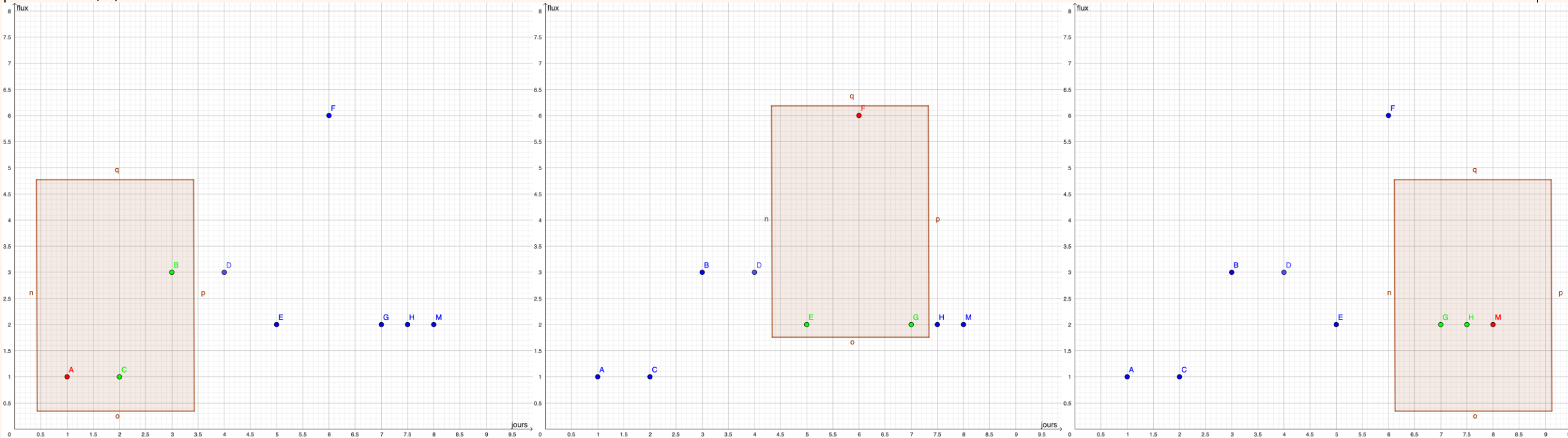
Filtre 4 σ

$$moyenne(Flux) = \frac{\sum_i^n Flux_i}{n} \quad (4)$$

$$ecart_type(Flux) = \sqrt{\frac{\sum_i^n (Flux_i - moyenne)^2}{n - 1}} \quad (5)$$

$$seuil = moyenne + 4 \times ecart_type \quad (6)$$

Filtre MZS

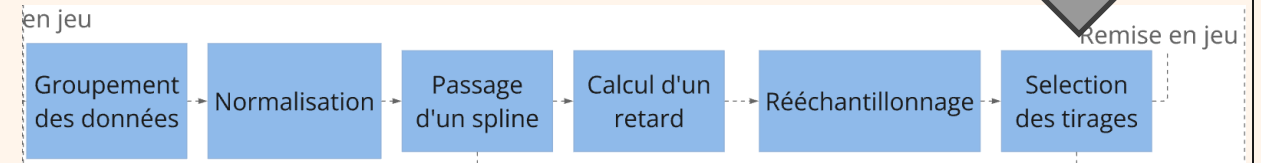


$$MAD(diff) = \text{mediane}|diff - \text{mediane}(diff)| \quad (7)$$

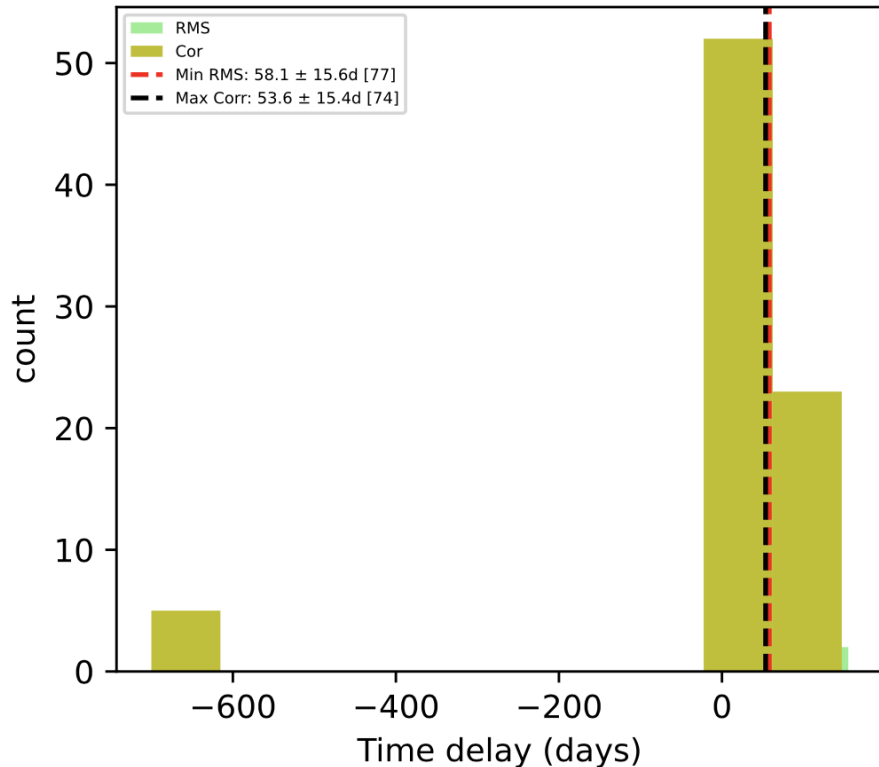
$$\text{seuil} = \text{mediane}(diff) + 3 \times MAD(diff) \quad (8)$$

$$\text{seuil} = \text{moyenne}(diff) + 3 \times \text{ecart_type} \quad (9)$$

Calcul du retards



Histogram of correlation and RMS as function of delay



$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_i^n (valeur_i - median(valeurs_i))^2}{n}}$$

$$seuil = mediane + 3 \times EQM$$

Itération 0

$$seuil = moyenne(retards) + 3 \times ecart_type(retards) \quad \text{Itérations } \geq 1$$