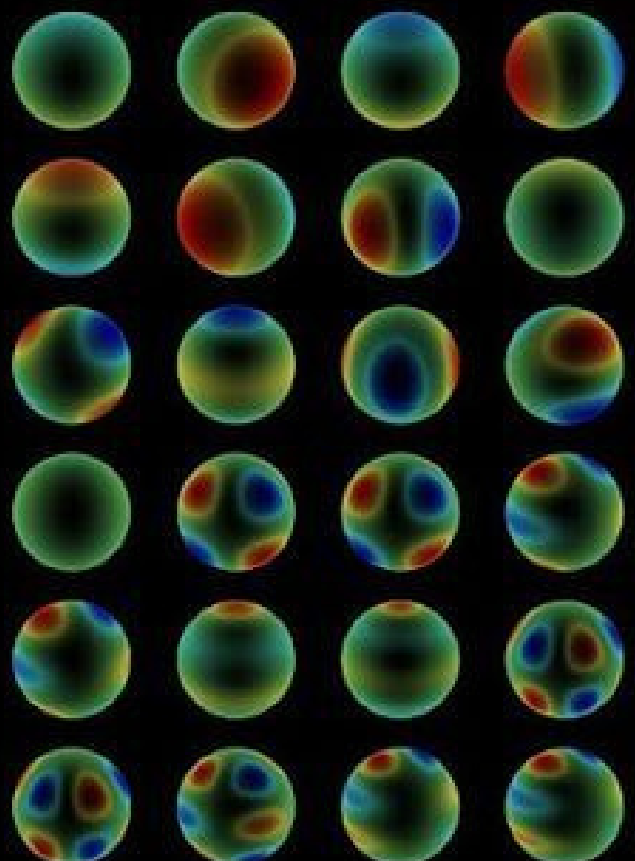


Août 2023

RAPPORT DE STAGE

Pauline LOMBA



Sommaire :

1. Introduction et Objectifs
2. Résultats
3. Analyse
4. Conclusion

Introduction et Objectifs :

Nous allons ici nous intéresser à l'astérosismologie, une branche de l'astrophysique qui étudie les oscillations et les vibrations des étoiles. En effet, en observant ces dernières, les astrophysiciens ont remarqué des variations périodiques de leur luminosité ou de leur vitesse radiale, ces phénomènes sont en outre causés par la propagation d'ondes sonores à travers la structure des étoiles. Ces mouvements fournissent des informations cruciales sur leur structure interne, leur composition et leur évolution, il est donc essentiel de savoir les caractériser.

Les étoiles vibrent à des fréquences spécifiques, appelées "modes de pulsation". Chaque mode de pulsation est associé à une structure interne et à des propriétés particulières de l'étoile. L'analyse des fréquences et des amplitudes de ces modes permet d'obtenir des informations sur la densité, la température, la composition chimique pour ainsi estimer la taille du noyau par exemple ou encore leur durée de vie.

Les données que nous allons analyser proviennent du satellite Kepler qui a été lancé en 2009 dans le but de détecter des exoplanètes en observant les variations de luminosité des étoiles. Il a identifié de nombreuses exoplanètes en utilisant la méthode de transit. Cependant, il a également recueilli des données précieuses pour l'astérosismologie en surveillant en continu la luminosité des étoiles, ce qui nous permet maintenant d'analyser leurs oscillations.

Les données récoltées nous donnent donc (pour un l et un n fixé) accès aux fréquences ainsi qu'à son erreur et à la température effective de l'étoile.

Grâce à ces paramètres, nous allons commencer par générer un nombre n_MCMC d'ensembles aléatoires de modes de propagation compris dans les barres d'erreur maximales des données initiales.

Ensuite, nous allons calculer l'indice sismique de la seconde différence, qui nous fournit une estimation de la manière dont les fréquences calculées varient en fonction du nombre quantique principal n des modes de pulsation. Plus précisément, cela nous permet d'évaluer le taux de changement des fréquences des modes de pulsation consécutifs d'ordres n , $n+1$ et $n+2$ à mesure que n augmente. Pour cela, nous utilisons le code mis en place par Luís Filipe Regala Pereira dans sa thèse intitulée "Development of automatic tools for measuring acoustic glitches in seismic data of solar-type stars". Ce code calcule la formule suivante à partir de nos données :

$$\delta\Delta_2\nu \simeq A_{BCZ}^* \left(\frac{\nu_r}{\nu}\right)^2 \sin(4\pi\tau_{BCZ}\nu + 2\phi_{BCZ}) + \\ + A_{HeII}^* \left(\frac{\nu}{\nu_r}\right) \exp\left[-\beta_{HeII}^* \left(\frac{\nu_r}{\nu}\right)^2\right] \sin(4\pi\tau_{HeII}\nu + 2\phi_{HeII})$$

Ce processus nous fournit un fichier par étoile, comprenant pour chaque fréquence calculée aléatoirement les paramètres de l'équation ci-dessus, c'est-à-dire l'amplitude, la profondeur acoustique et la phase associées à la deuxième différence de la zone convective, ainsi que l'amplitude, la profondeur acoustique, la phase et enfin la largeur acoustique du signal liée à la deuxième différence de la zone d'ionisation de l'hélium.

Une fois cela accompli pour chaque étoile, nous traçons un histogramme pour la distribution de la profondeur acoustique. Cela nous permet de déterminer la valeur la plus probable pour la profondeur acoustique de la zone convective et de la zone d'ionisation de l'hélium. Cette valeur correspond à un "acoustic glitch", qui résulte de variations soudaines de la vitesse du son à l'intérieur d'une étoile. Ces variations sont généralement dues à des changements abrupts dans les propriétés physiques du plasma stellaire à des profondeurs spécifiques. Ces fluctuations de densité, de température et de composition chimique créent des discontinuités dans la propagation des ondes sonores, induisant ainsi des perturbations détectables dans les oscillations acoustiques. On peut alors mettre en évidence deux informations clé qui sont la localisation de la base de la zone convective et de la zone d'ionisation de l'hélium.

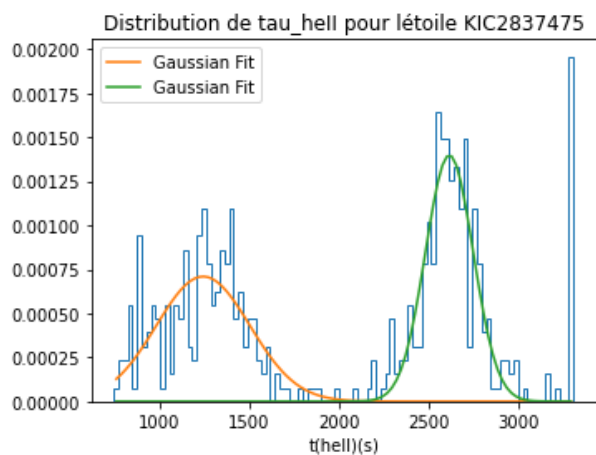
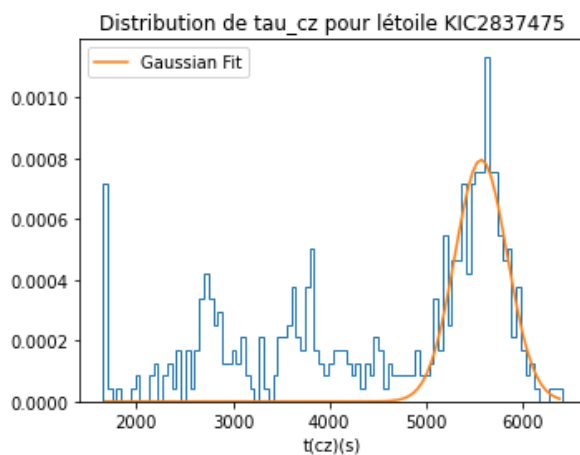
Pour cela, nous focaliserons notre étude sur 10 étoiles spécifiques de type solaire afin de comparer nos valeurs obtenues avec l'étude de Kuldeep Verma et Al.

"Seismic Measurement of the Locations of the Base of Convection Zone and Helium Ionization Zone for Stars in the Kepler Seismic LEGACY Sample" en nous aidant des travaux réalisés par Luís Filipe Regala Pereira dans sa thèse "Development of automatic tools for measuring acoustic glitches in seismic data of solar-type stars"

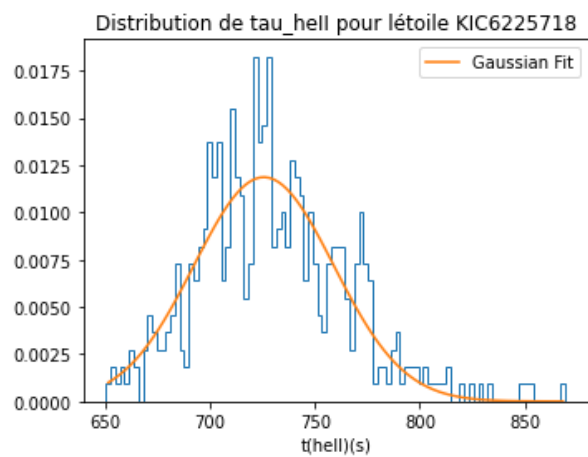
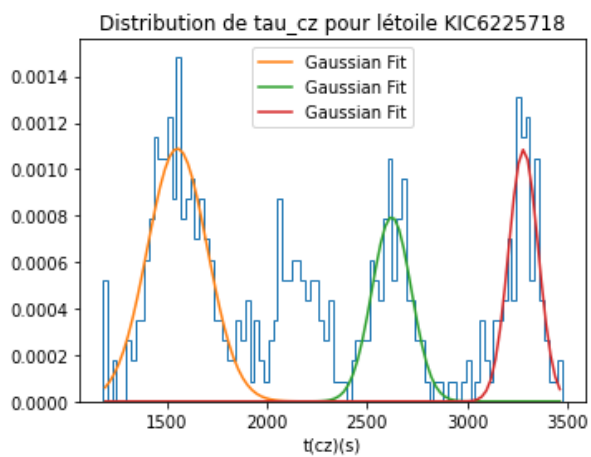
Résultats :

Nous avons débuté en générant 500 ensembles aléatoires de modes de propagation ($n_{\text{MCMC}} = 500$), puis nous avons augmenté ce nombre successivement à 1000 et à 5000. Cette augmentation vise à mieux approximer les paramètres réels. Voici les résultats issus du fit gaussien appliqué à la distribution de la profondeur acoustique pour chaque étoile pour la base de la zone convective (convective zone = cz) ainsi que pour la zone d'ionisation de l'hélium (hell). Nous avons retenu uniquement le pic le plus élevé à chaque fois. Chaque tableau est suivi de la figure représentant la distribution de tau sous forme d'histogramme pour le cas de fit qui fonctionnait le mieux c'est à dire $n_{\text{MCMC}} = 500$:

étoile KIC2837475				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
$n_{\text{MCMC}} = 500$	5.56867857e+03	2.70473261e+02	2.61359127e+03	1.32746285e+02
$n_{\text{MCMC}} = 1000$	5.57137077e+03	2.93036813e+02	2.59070239e+03	1.32771417e+02
$n_{\text{MCMC}} = 5000$	5.60337475e+03	2.80729580e+02	2.59197644e+03	1.27202471e+02

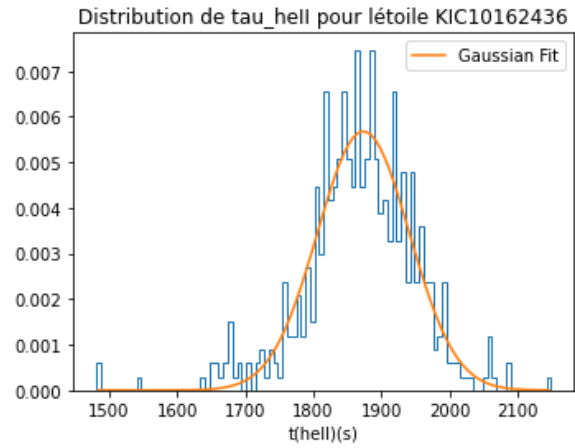
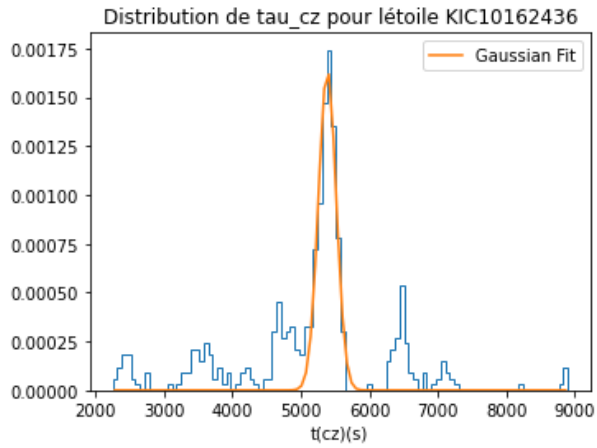


étoile KIC6225718				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	1.55396193e+03	1.49404779e+02	7.25555461e+02	3.33510107e+01
n_MCMC = 1000	1.54546191e+03	1.28419773e+02	7.21555300e+02	3.57805585e+01
n_MCMC = 5000	1.54304426e+03	1.20410481e+02	7.22192857e+02	3.48559773e+01

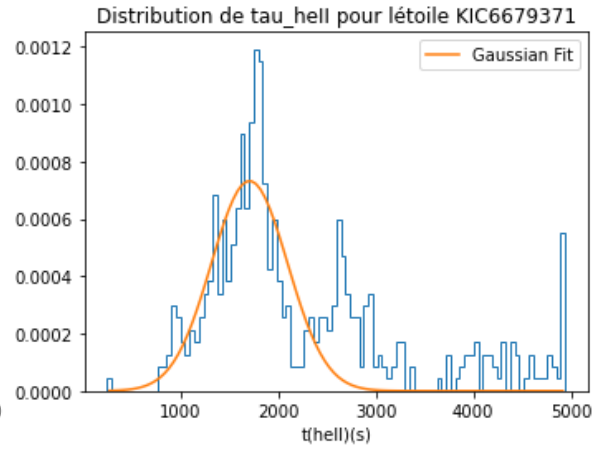
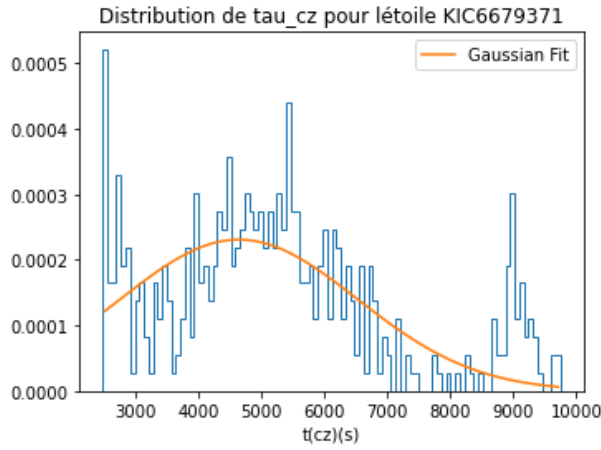


étoile KIC10162436				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	5.38614183e+03	1.29230080e+02	1.87365249e+03	6.76595909e+01

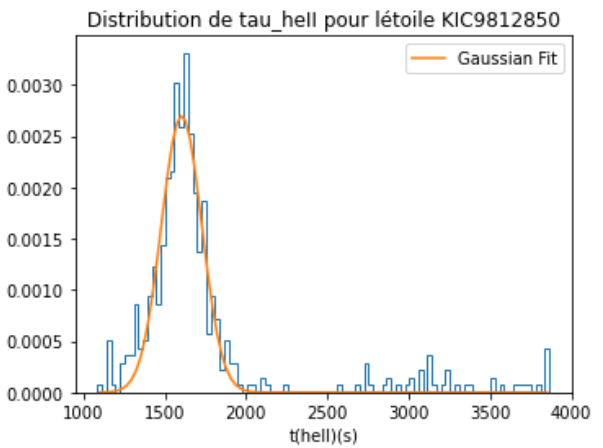
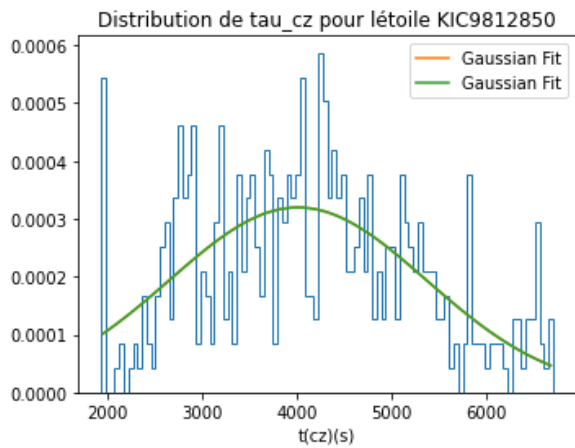
n_MCMC = 1000	5.39070110e+03	1.33844824e+02	1.87285099e+03	7.52107971e+01
n_MCMC = 5000	5.39157152e+03	1.22113175e+02	1.87292774e+03	7.44810490e+01



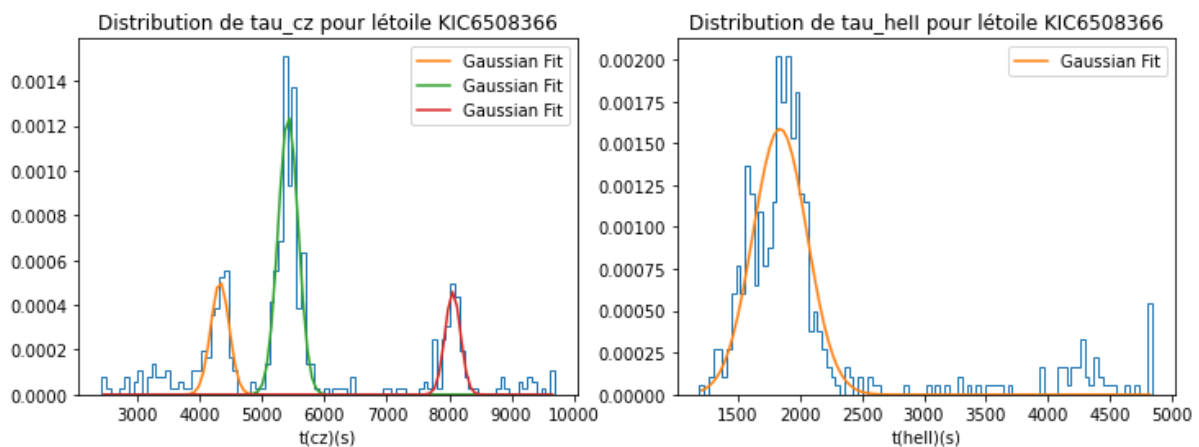
étoile KIC6679371				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	4.63714283e+03	1.88537066e+03	1.70579556e+03	3.91059020e+02
n_MCMC = 1000	4.64575702e+03	1.93209476e+03	1.75521494e+03	5.21620491e+02
n_MCMC = 5000	4.69340795e+03	1.87285898e+03	1.69069506e+03	3.78515378e+02



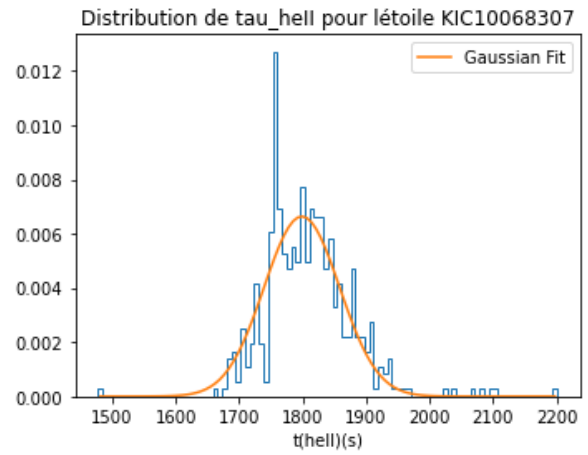
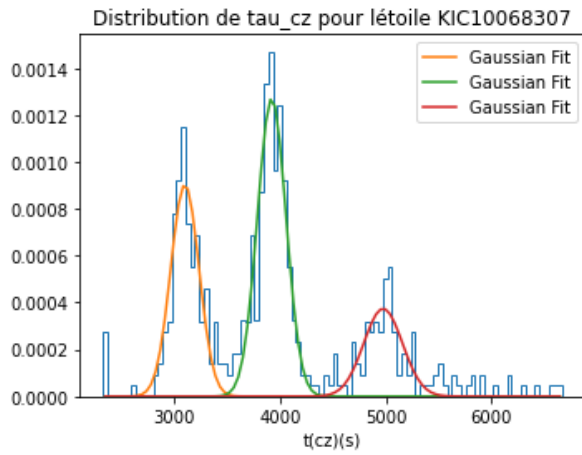
étoile KIC9812850				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	4.00870215e+03	1.35753665e+03	1.60345339e+03	1.23958122e+02
n_MCMC = 1000	4.18468877e+03	1.27372642e+03	1.59061132e+03	1.29483330e+02
n_MCMC = 5000	4.16381736e+03	1.30461506e+03	1.59170590e+03	1.25770816e+02



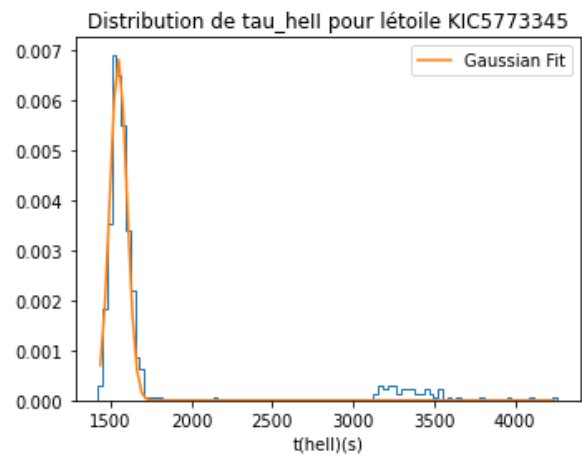
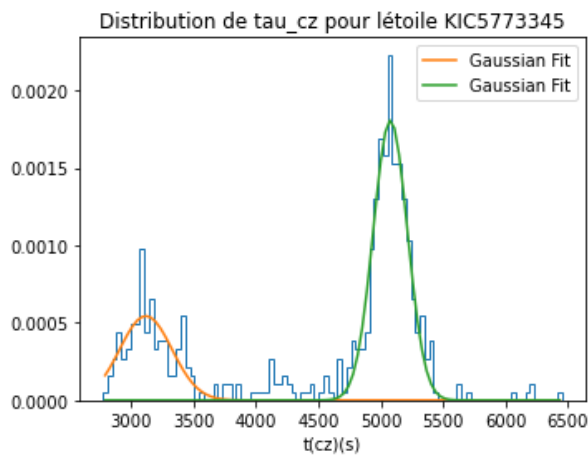
	étoile KIC6508366			
	Cz		Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	5.41910895e+ 03	1.61356189e+ 02	1.83859609e+ 03	2.17965207e+ 02
n_MCMC = 1000	5.41535910e+ 03	1.77737490e+ 02	1.84196865e+ 03	2.17106296e+ 02
n_MCMC = 5000	5.40780174e+ 03	1.76088556e+ 02	1.84077447e+ 03	2.11608022e+ 02



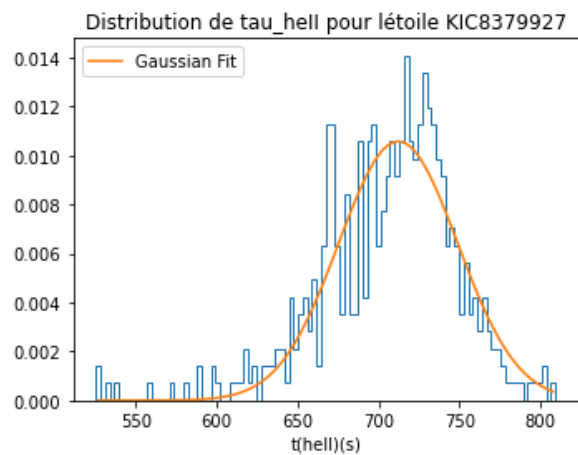
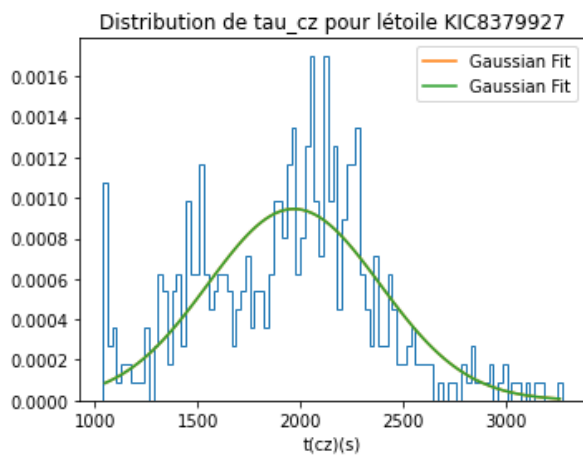
	étoile KIC10068307			
	Cz		Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	3.91941938e+ 03	1.35362442e+ 02	1.79883107e+ 03	5.94965133e+ 01
n_MCMC = 1000	3.92177502e+ 03	1.17673642e+ 02	1.79871192e+ 03	5.96962515e+ 01
n_MCMC = 5000	3.90663688e+ 03	1.53070724e+ 02	1.79764202e+ 03	5.72576902e+ 01



étoile KIC5773345				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	5.07771084e+03	1.36873361e+02	1.54782252e+03	5.21816420e+01
n_MCMC = 1000	5.07103455e+03	1.44311536e+02	1.54258515e+03	4.25076834e+01
n_MCMC = 5000	5.07812952e+03	1.48808413e+02	1.54636372e+03	4.80575991e+01

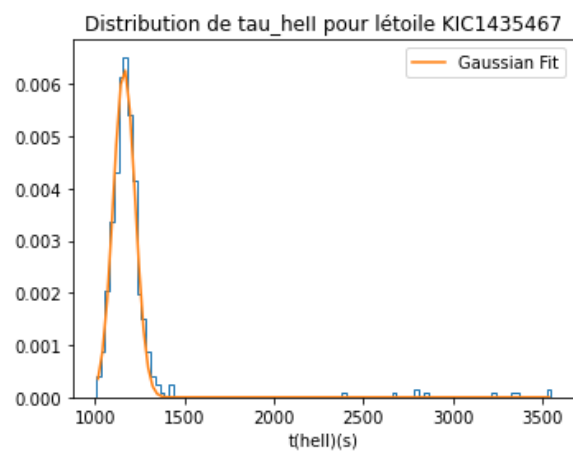
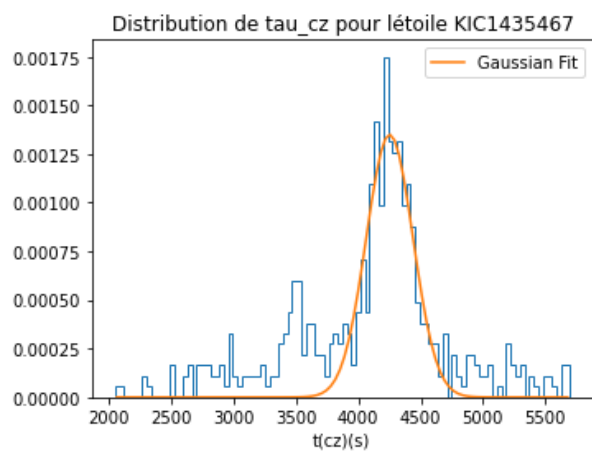


étoile KIC8379927				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	1.96749250e+03	4.18498350e+02	7.12160301e+02	3.67855441e+01
n_MCMC = 1000	1.95442069e+03	4.15813339e+02	7.14471761e+02	3.83497579e+01
n_MCMC = 5000	1.97716534e+03	4.22533733e+02	7.13507690e+02	3.80163606e+01



étoile KIC1435467				
Cz			Hell	
	Centre	Intervalle à 1 sigma	Centre	Intervalle à 1 sigma
n_MCMC = 500	4.25063732e+03	1.87746831e+02	1.16417053e+03	6.09957980e+01
n_MCMC = 1000	4.24619922e+03	1.92952752e+02	1.16229231e+03	5.97007961e+01

n_MCMC = 5000	4.25689550e+03	1.98487835e+02	1.16715437e+03	6.38626555e+01
---------------	----------------	----------------	----------------	----------------



Analyse :