



[Gravitation /](#) Gravitation

Table des matières:

Partie théorique :

1.1 Théorie de la relativité générale

1.2 Déformation de la pente de l'Espace-temps et de la membrane

1.3 Lois et phénomènes physique lié(e)s à cette théorie

Partie expérimentale :

2.1 Expérience 1 : Profils de déformation de la membrane

2.2 Expérience 2 : Trajectoires d'une bille pour différentes tensions appliquées à la membrane élastique

2.3 Expérience 3 : Oscillations de la membrane élastique et miroirs

Conclusion et ouverture

Bibliographie/Annexe

[\(Edit Section_1\)](#)

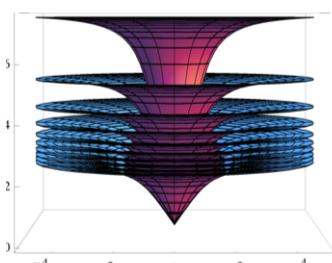
Partie théorique :

Dans le cadre de notre projet de Physique expérimentale, nous avons choisi le sujet intitulé : « L'analogie relativité générale/ élasticité est-elle valide ? ». Pour Einstein, le mouvement d'un corps n'est pas déterminé par des forces, mais par la configuration de l'espace-temps. Par exemple, d'après Newton la Terre tourne autour du Soleil car celui-ci exerce une force gravitationnelle sur notre planète. Pour Einstein, c'est une perturbation de l'espace-temps introduite par la masse du Soleil qui est à l'origine du mouvement de la Terre. Pour mieux comprendre cette idée, faisons appel à une analogie à deux dimensions. L'espace, en relativité générale, peut être comparé à une sorte de tissu élastique. La présence d'une étoile peut être simulée en posant une bille lourde sur ce tissu. Celle-ci s'enfonce dans le tissu, le déforme et y crée une dépression. Que se passe-t-il lorsqu'un corps de masse plus petite passe à proximité de l'étoile ? Faisons rouler une bille sur le tissu : la trajectoire est d'abord une simple ligne droite, mais lorsque la bille passe à proximité de la bille plus lourde, elle pénètre légèrement dans la dépression. Elle est alors déviée de sa ligne droite et sa trajectoire se courbe. Sur ce tissu élastique, le mouvement de la bille n'est pas dicté par une force mais par la forme de l'espace ou plus précisément, par la courbure de celui-ci. Nous allons au cours de cette expérience tenter de savoir si cette analogie est correcte.

Les orbites gravitationnelles sont elles comparables à des orbites d'objets sur un milieu élastique ?

La première idée que nous avons eu était de créer une membrane élastique avec un profil (cf courbe) qui suit l'équation théorique (cf équation) de profil de déformation de l'espace temps dans le cadre de la relativité générale. Constatant l'impossibilité technique de réaliser des profils se rapprochant de l'équation théorique, nous avons décidé d'opter pour d'autres profils, obtenus grâce à un montage expérimental décrit dans la suite.

$$\frac{dz}{dr} = \sqrt{\frac{2 + \beta}{1 - \beta}} (1 + \kappa r^{2(2+\beta)})^{-1/2} \quad \beta \equiv 6GM/c^2r_0$$



$z(r)$ Profil de déformation pour des betas allant de 0 à 0.9

[\(Edit Section_1\)](#)

Partie expérimentale :

[\(Edit Section_1\)](#)

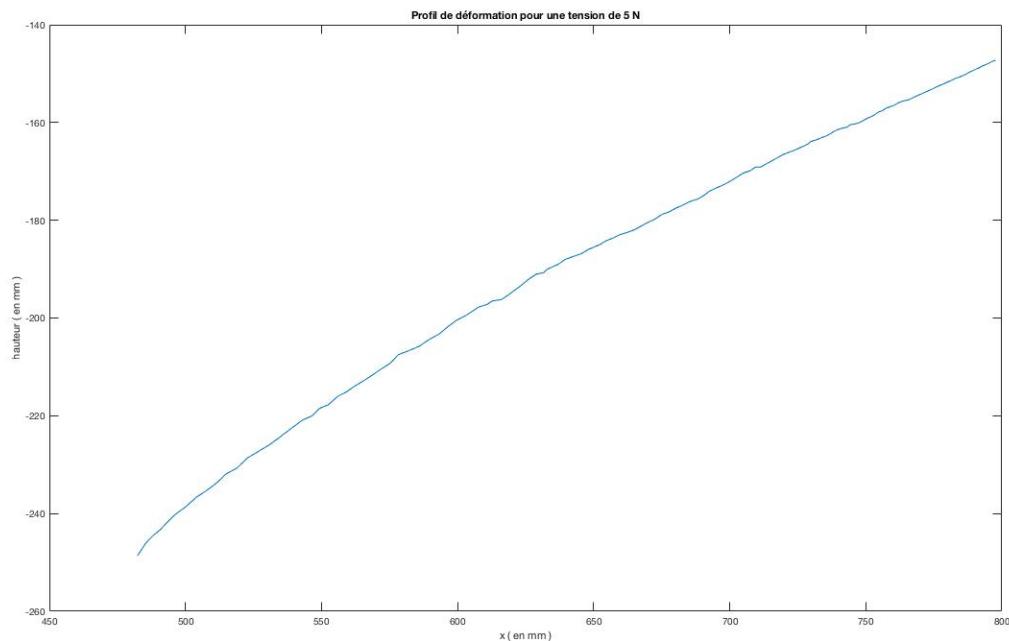
2.1 Expérience 1 : Profils de déformation de la membrane

Notre montage expérimental consiste en une nappe élastique apposée sur un cerceau en plastique (57.5 cm de diamètre) indéformable (cf photo) dont nous pouvions étendre la surface par le biais d'un câble fixé magnétiquement à la bille la plus massive en acier au centre de la nappe élastique. Ce câble est relié à une poulie, nous permettant donc de quantifier la tension exercée sur la nappe élastique. Nous avons ensuite placé une caméra (25 images/s) au dessus de notre nappe élastique dans le but de filmer les trajectoires de la bille indéformable (4.7 g) pour différentes tensions (5 N, 10 N et 20 N).

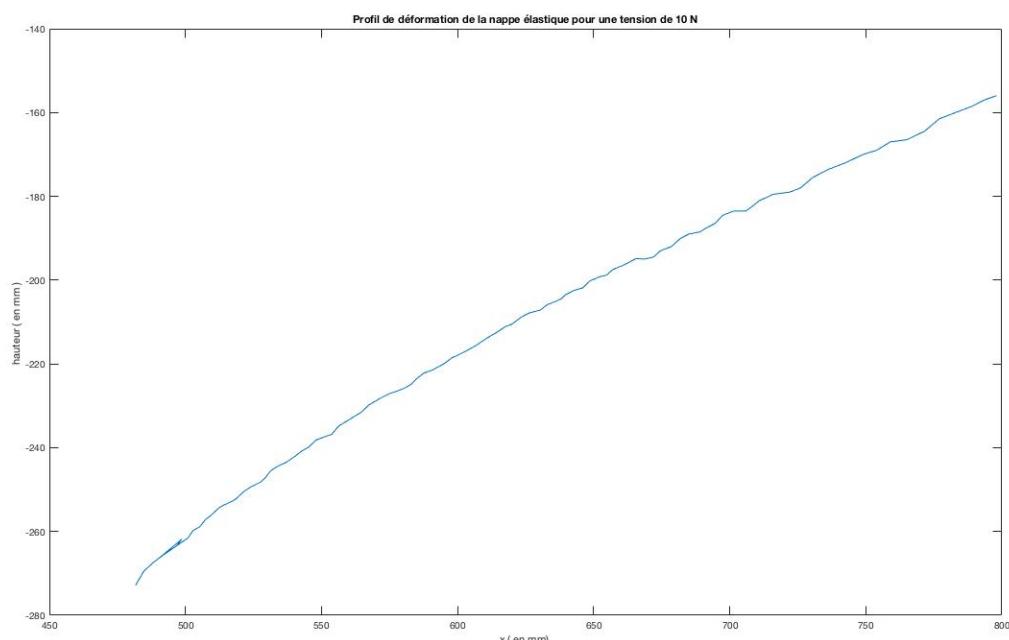


Les profils obtenus pour les différentes tensions exercées sont les suivants :

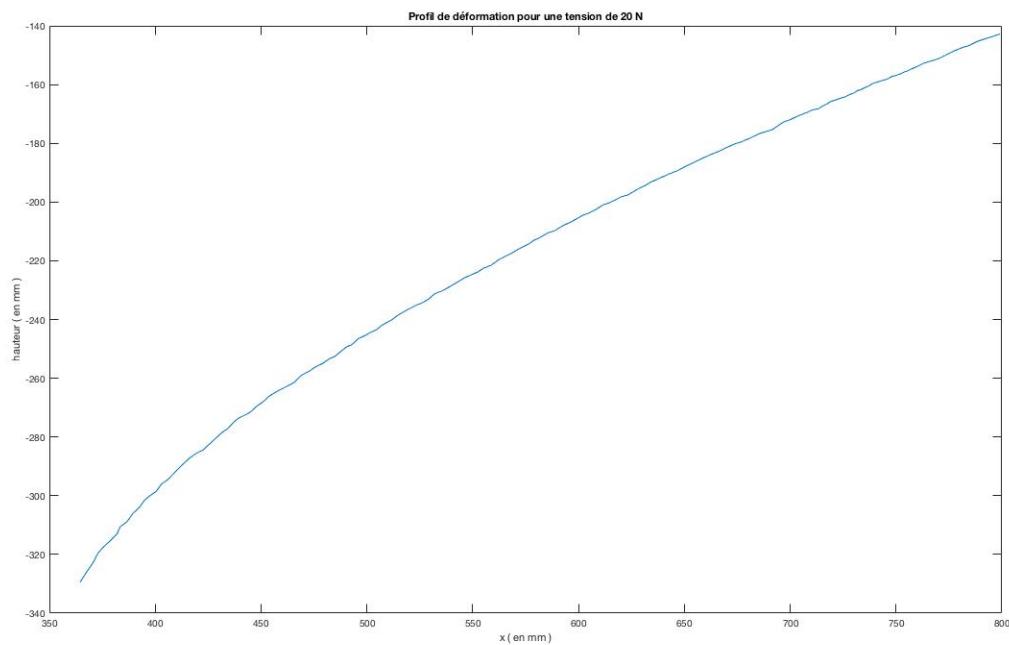
Pour une tension de 5 N , nous obtenons un profil : $z(r) = r^{0.54}$



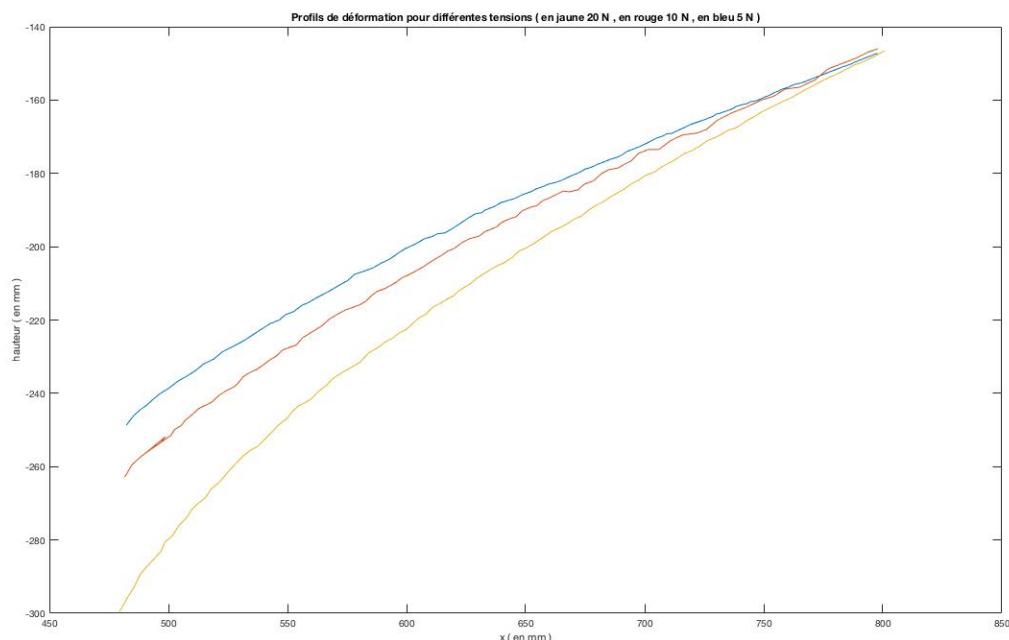
Pour une tension de 10 N , nous obtenons un profil : $z(r) = r^{0.62}$



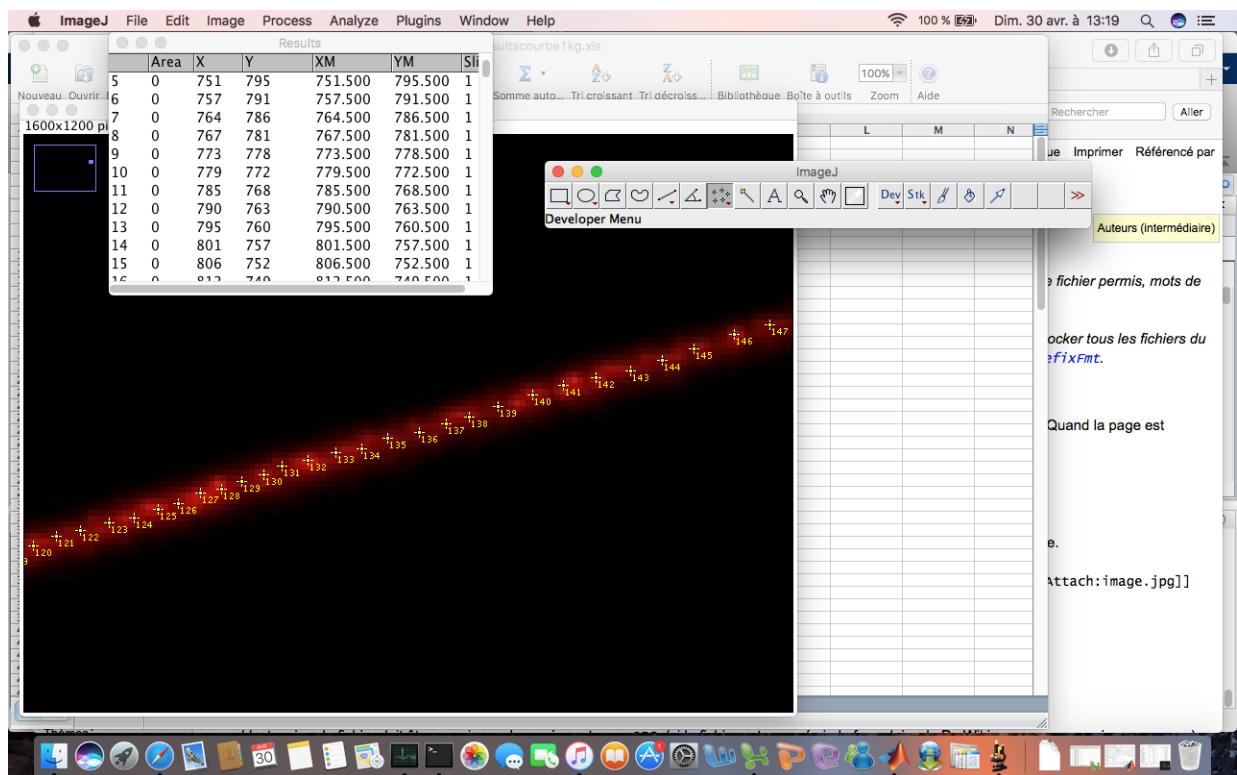
Pour une tension de 20 N , nous obtenons un profil : $z(r) = r^{0.76}$



Donc nous observons que les profils sont loin des profils d'orbites gravitationnelles ($y = r^{-1}$). N'ayant qu'une seule nappe élastique à notre disposition, nous n'avons pu étudier les trajectoires sur différentes nappes élastiques afin de savoir si l'élasticité est un paramètre qui influe sur les trajectoires. Nous aurions pu également déterminer si la variation du rayon de la nappe affecte les trajectoires.



Pour avoir ces profils nous avons utilisé une nappe laser (cf photo), qui permet de voir la déformation sur la nappe élastique. Après avoir pris une photo du " profil laser " , nous l'avons ouverte sur Image J , dans le but de déterminer les coordonnées de chaque point du " profil laser " pour évaluer le profil de la nappe .

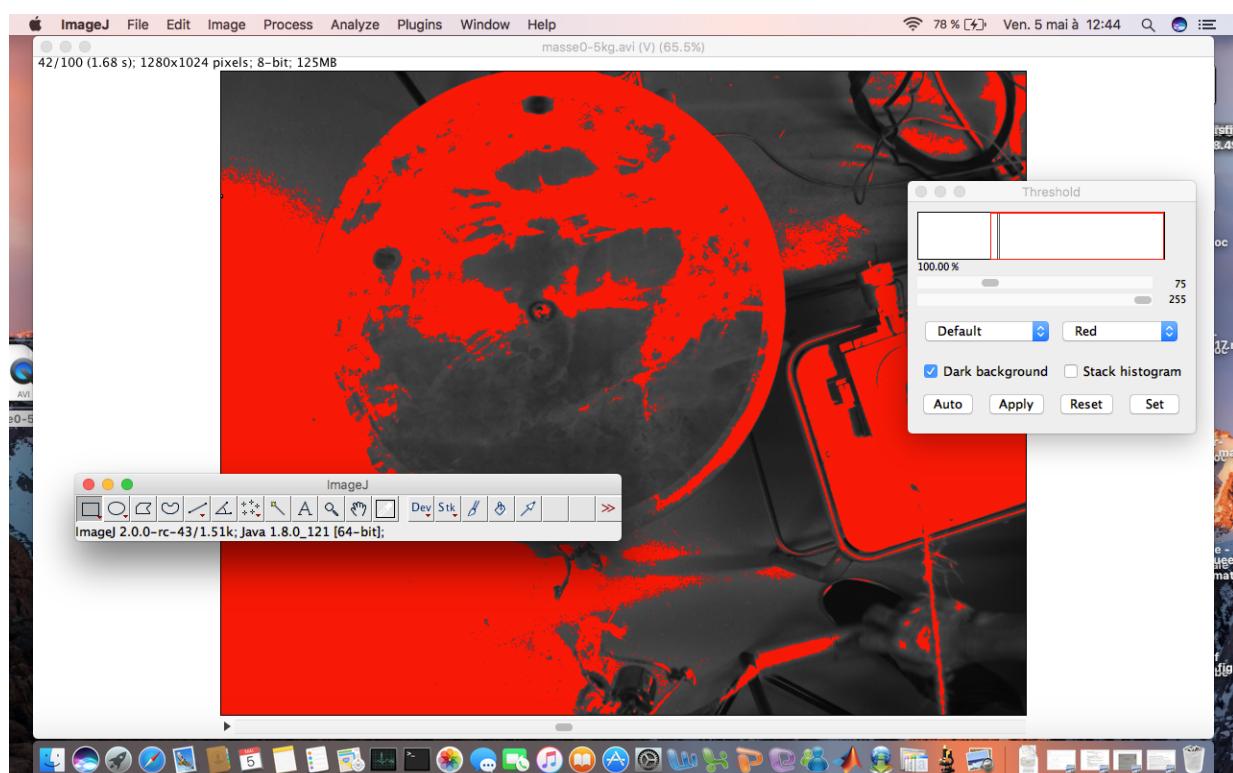


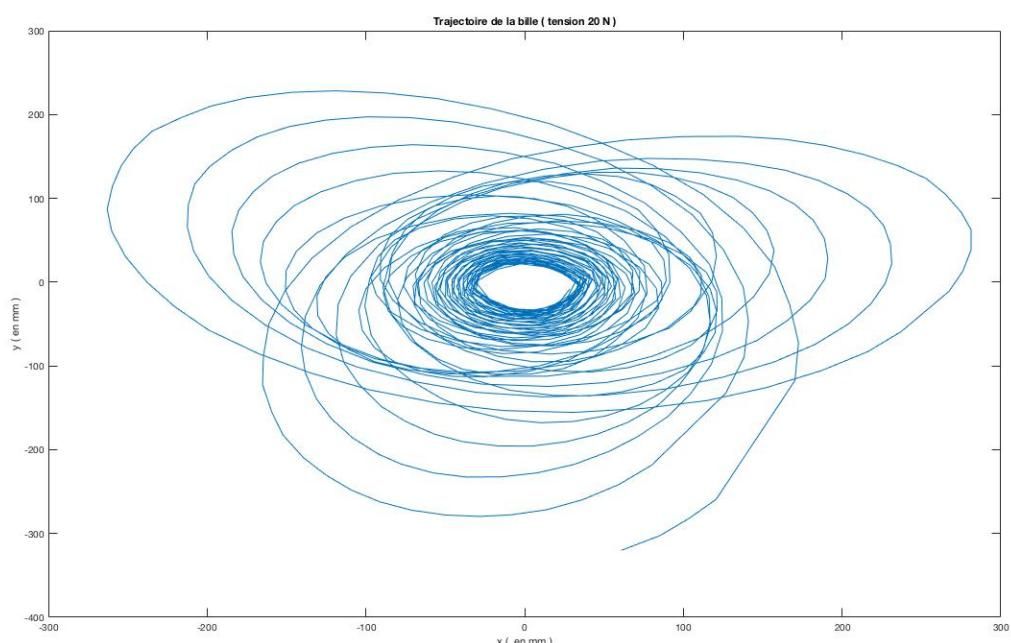
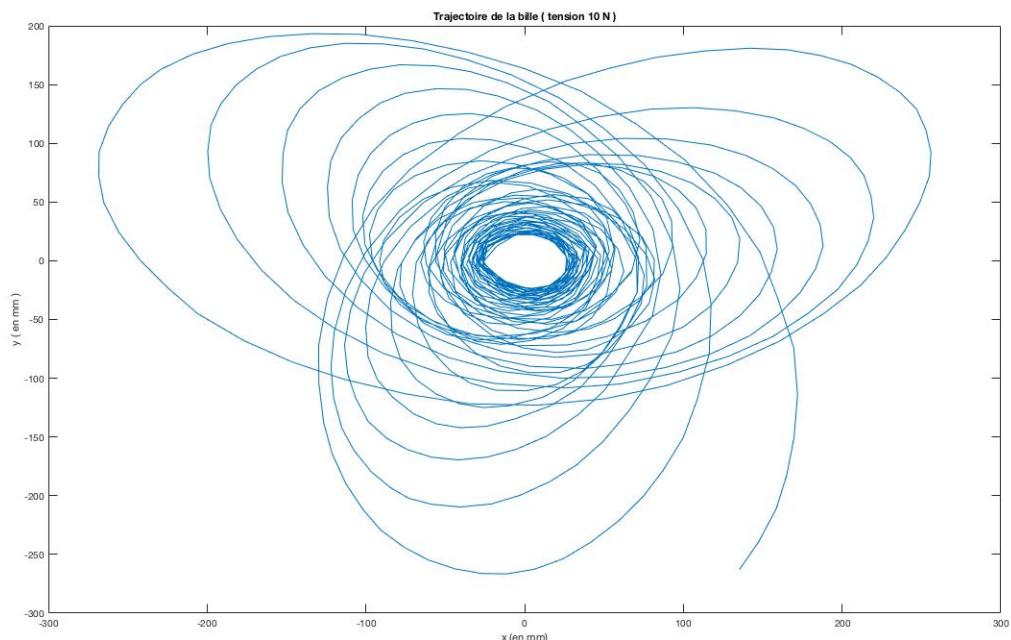
[\(Edit Section...\)](#)

2.2 Expérience 2 : Trajectoires d'une bille pour différentes tensions appliquées à la membrane élastique

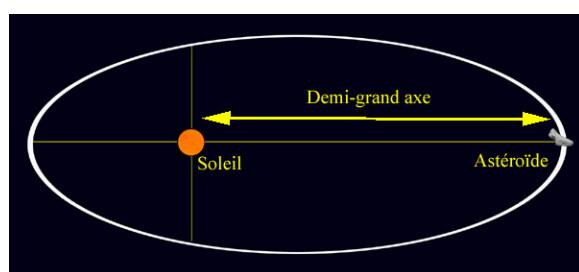
Une fois ces profils obtenus, nous nous sommes intéressés aux trajectoires de la bille sur la nappe élastique, et nous avons examiné si les lois de Kepler sont applicables dans le cadre de ces orbites sur la nappe élastique.

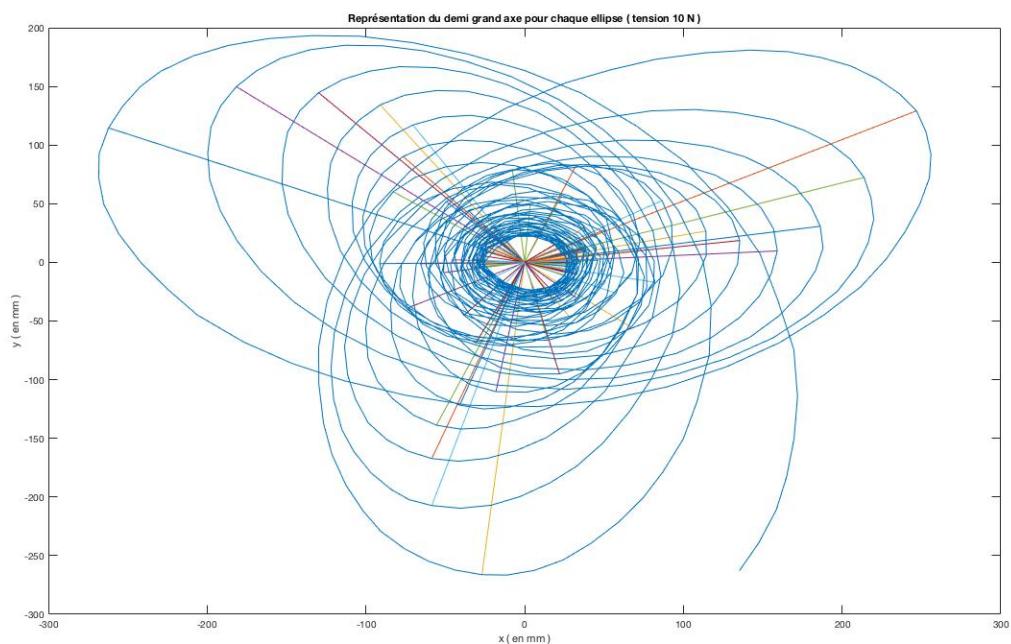
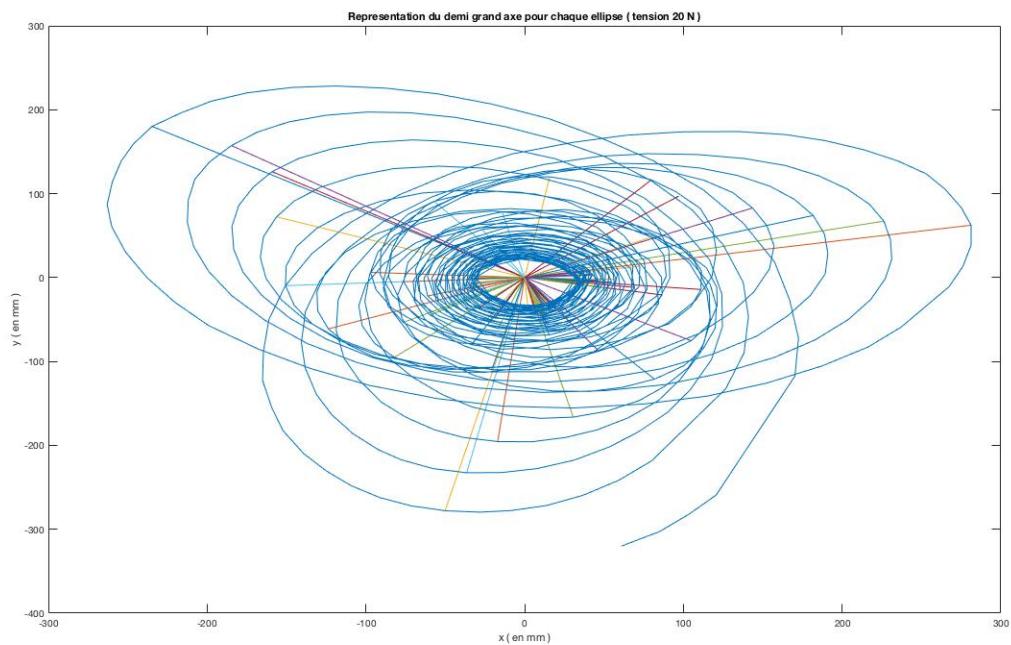
Pour déterminer la trajectoire sur la vidéo, nous avons utilisé le logiciel Image J. En calculant la moyenne des images nous avons enlevé le background, ce qui a nous a permis de ne garder que la bille sur les images. Puis nous avons appliqué la fonction thresold et la fonction tracking particle, qui nous ont donné les coordonnées de la bille. Enfin avec le logiciel Matlab, nous avons réalisé les trajectoires.



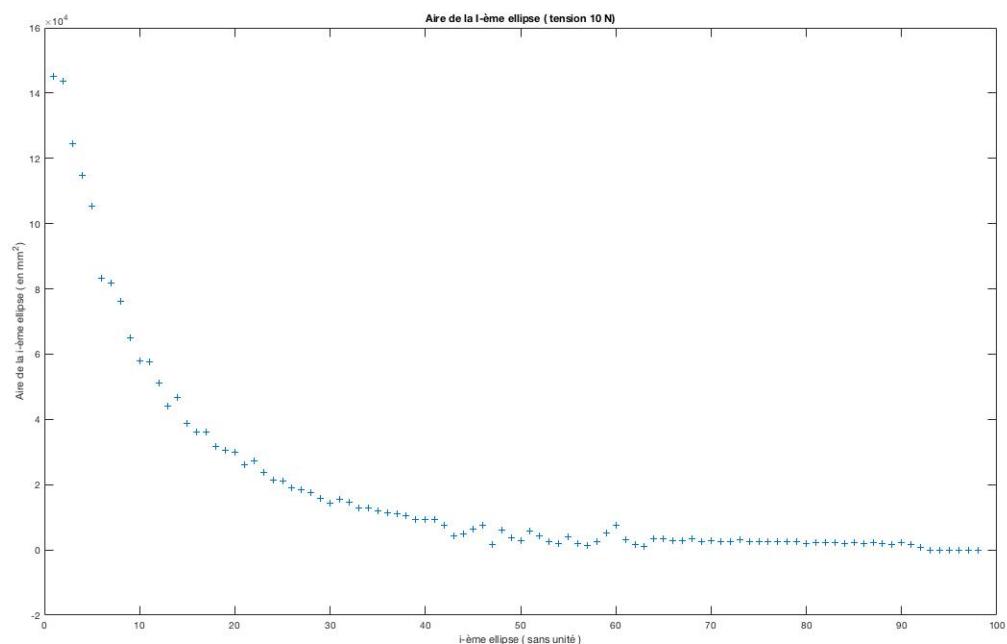
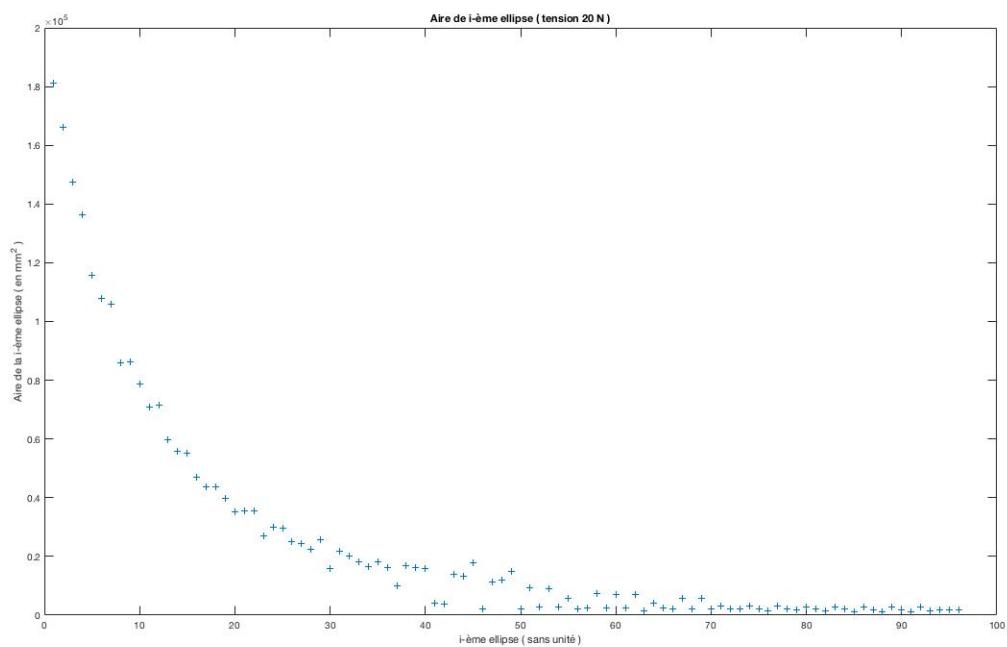


Dans une orbite gravitationnelle, la direction du demi grand axe ne change jamais. Or dans notre expérience, nous observons que le demi-grand axe change à chaque passage près du foyer, quelque soit la tension que l'on applique (10 ou 20 N). Cela prouve que le potentiel n'est pas en $1/r$. La raison pour laquelle la trajectoire de la bille ne se comporte pas comme une orbite gravitationnelle est sûrement dû à la présence de frottement.

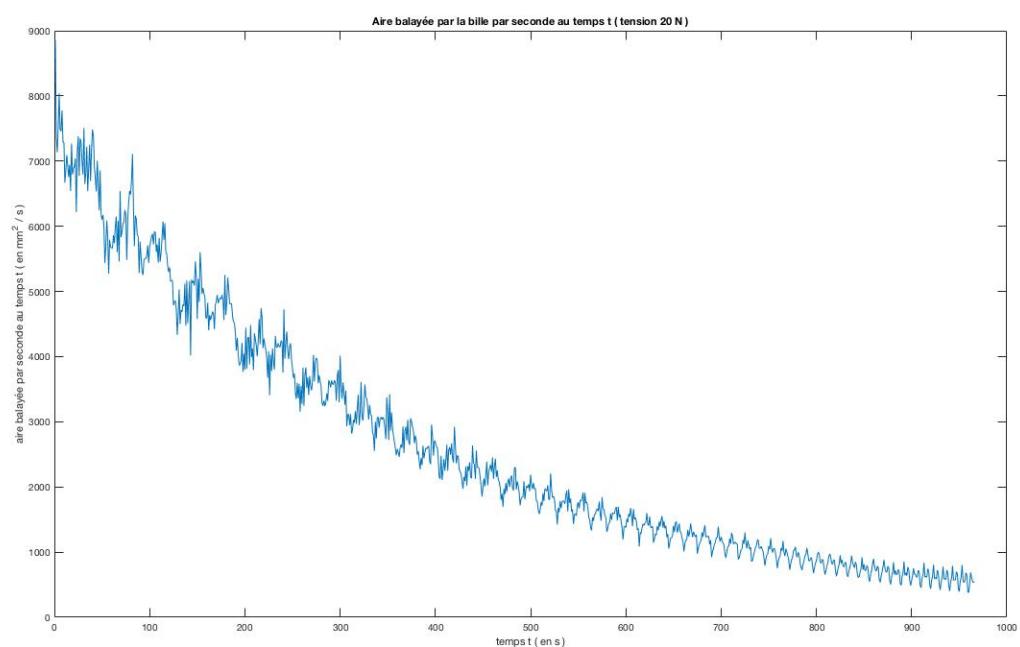
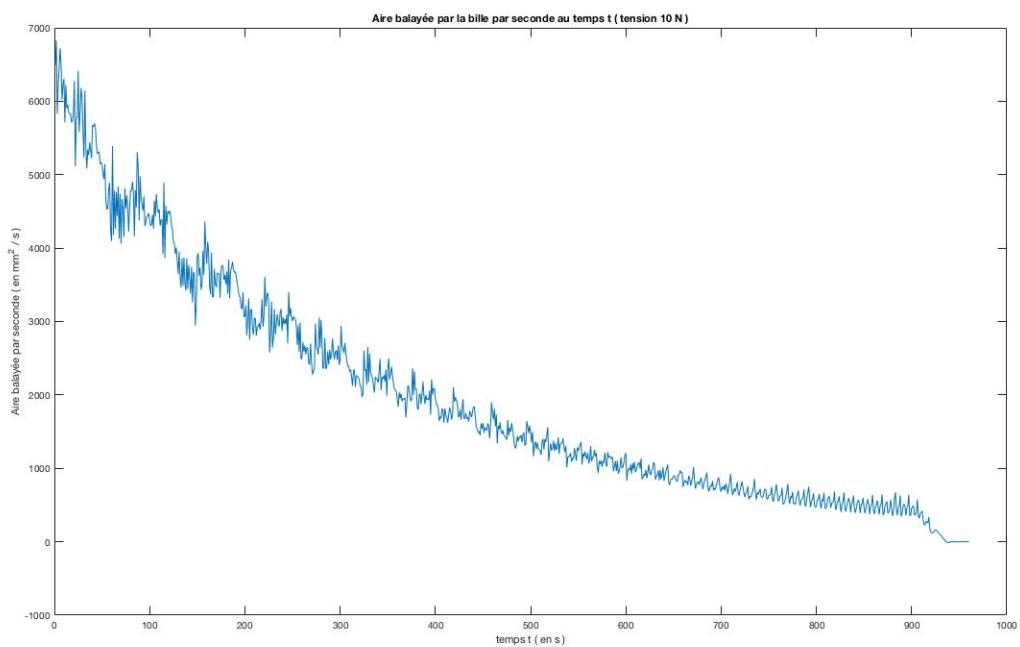


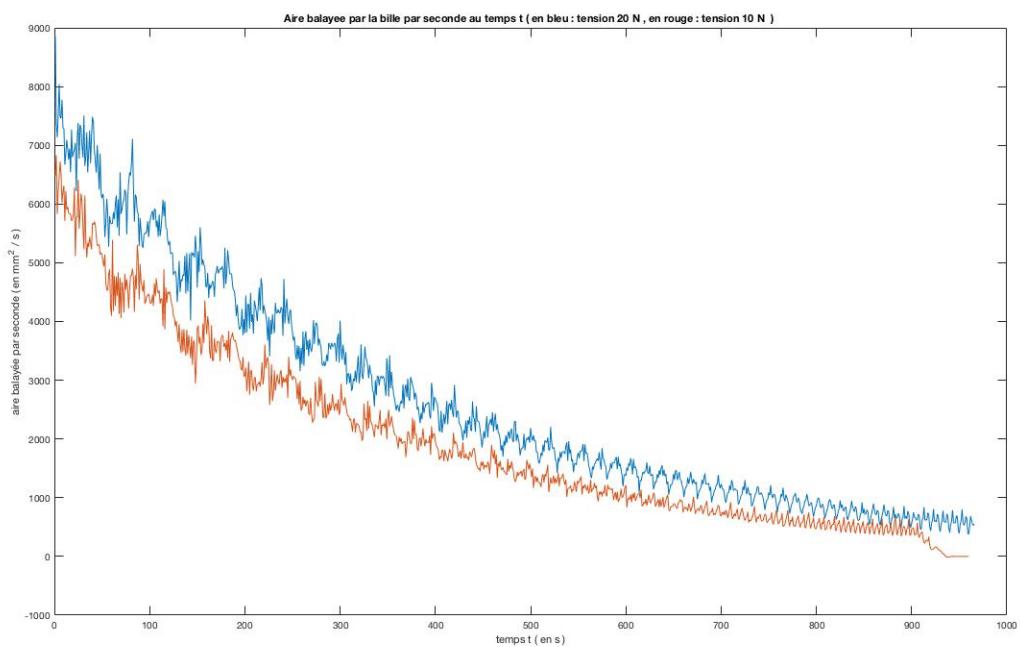


Dans une orbite gravitationnelle, l'aire de l'ellipse reste constante, ce qui n'est pas le cas dans notre expérience. On remarque que l'aire de l'ellipse diminue exponentiellement après chaque passage près du centre, que l'on applique une tension de 10 ou 20 N.

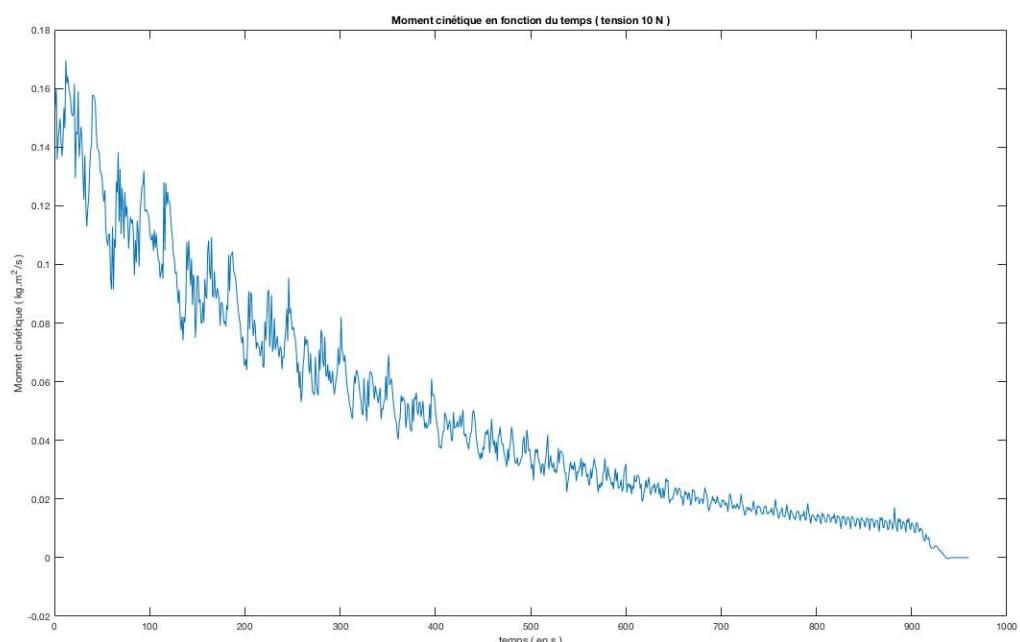


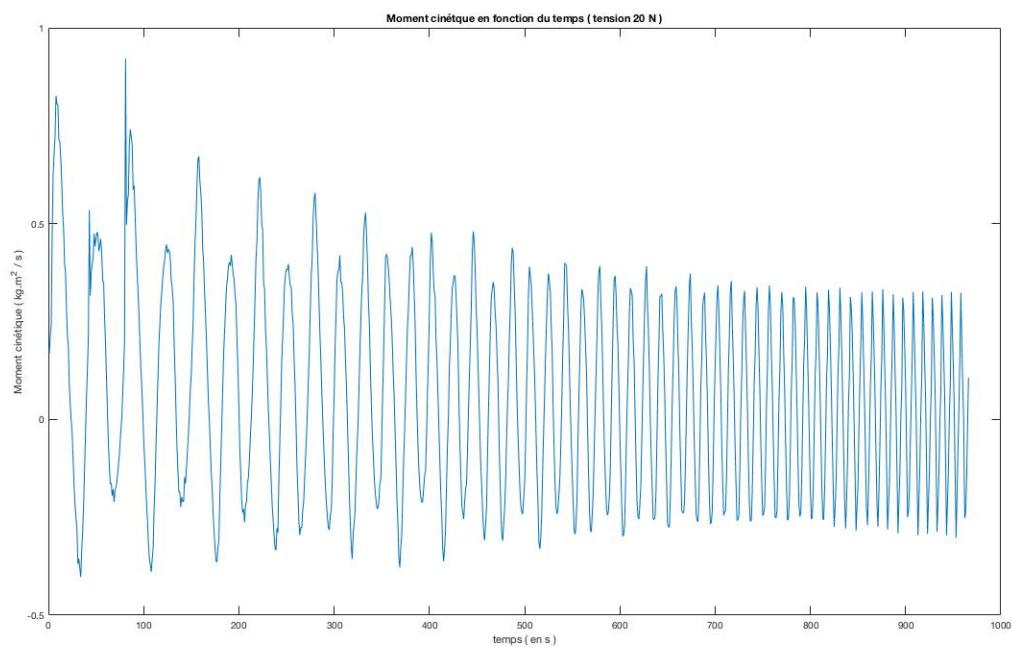
Une autre caractéristique des orbites gravitationnelles est la vérification de la seconde loi de Kepler : l'aire balayée par unité de temps doit être constante. Or dans notre expérience, nous remarquons que l'aire balayée par seconde diminue au cours du temps. Le constat est le même quelque soit la tension appliquée.



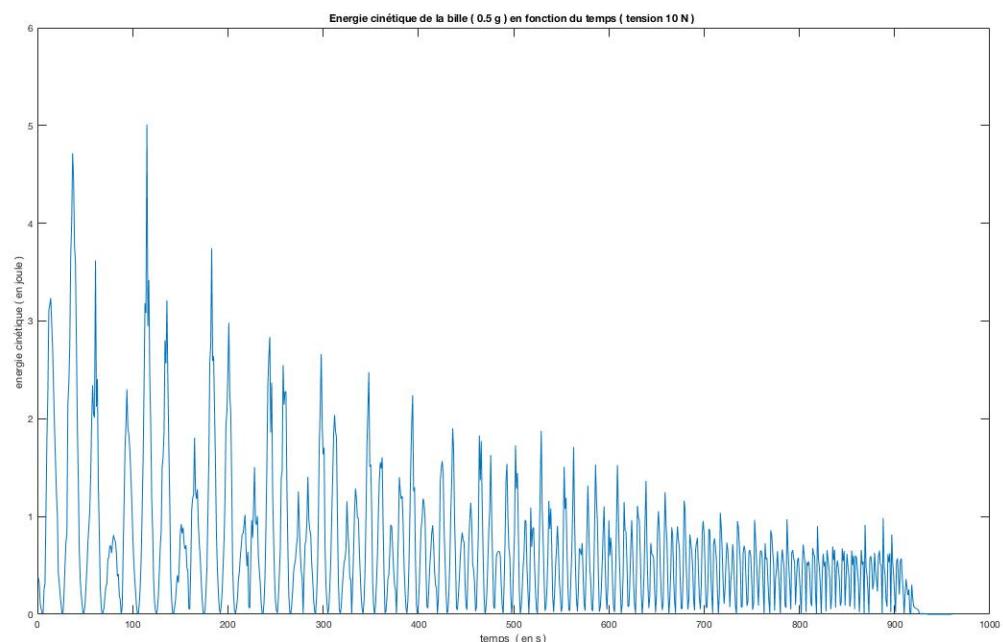


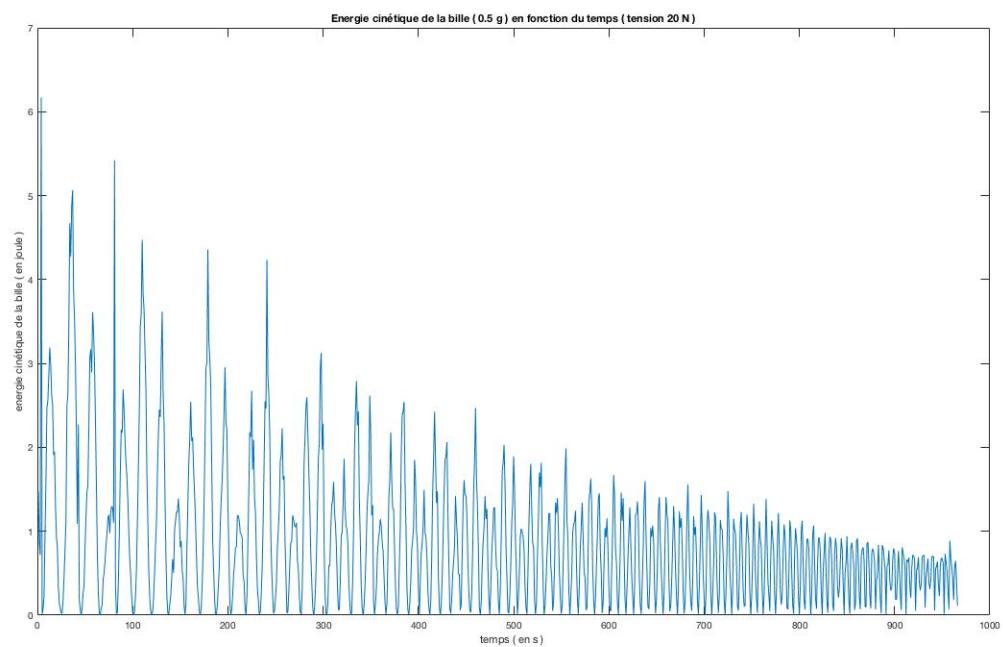
Le moment cinétique est en théorie conservé mais nous remarquons qu'il ne l'est pas dans notre expérience. Cela est de nouveau dû aux forces de frottement.



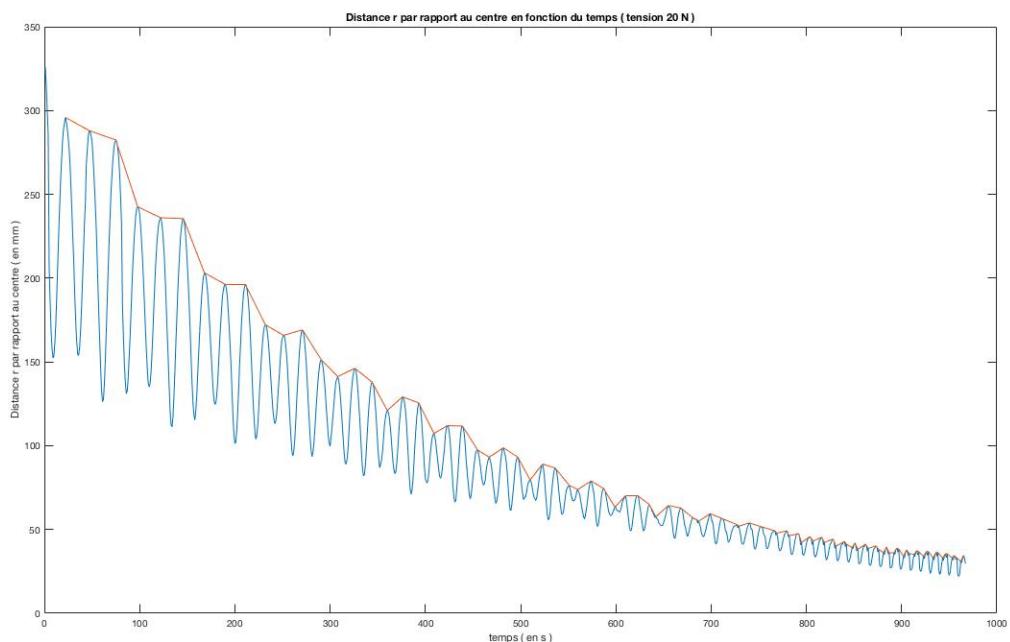


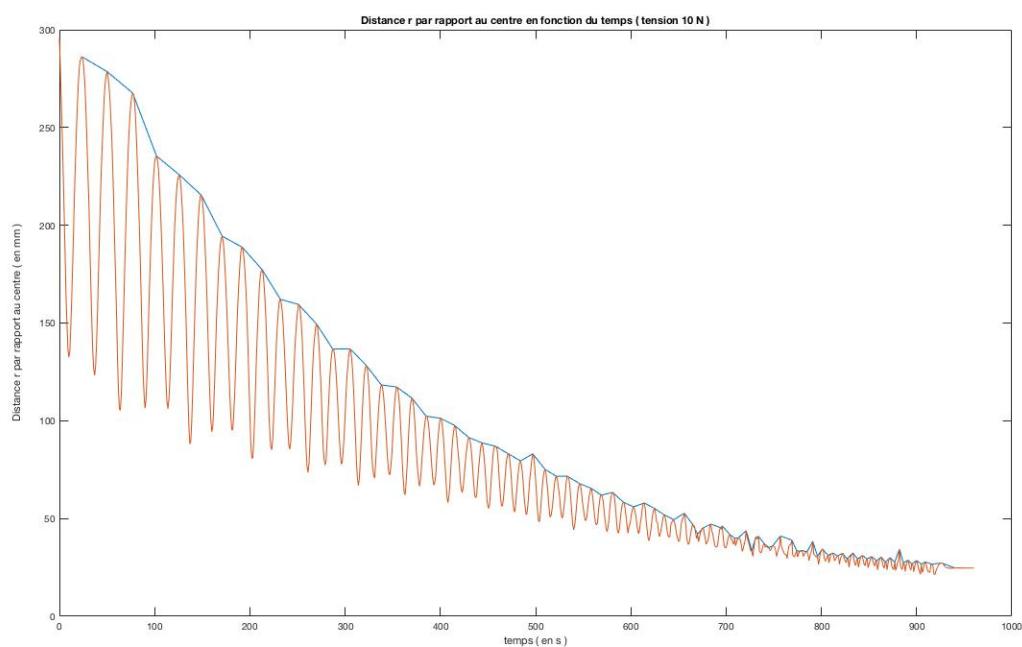
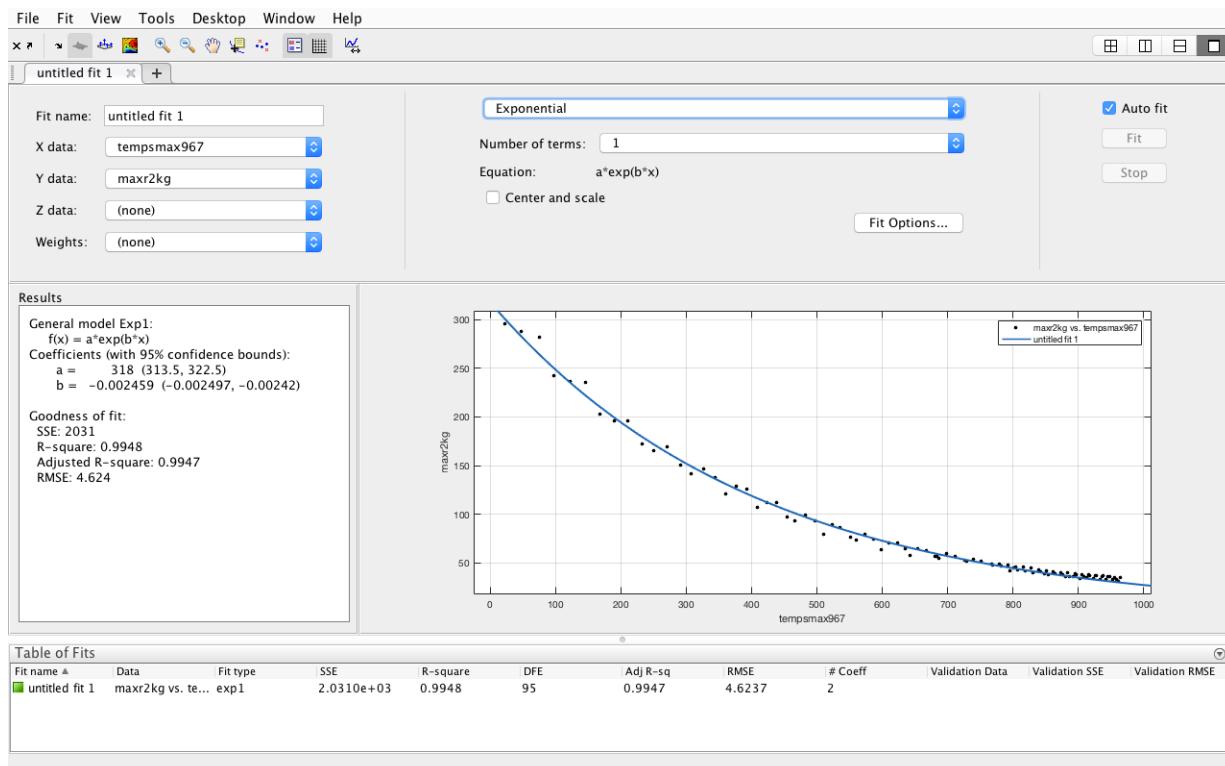
Nous constatons que la vitesse de la bille augmente lorsqu'elle passe près du centre et qu'elle diminue lorsqu'elle s'en éloigne, ce qui est une caractéristique des orbites gravitationnelles.



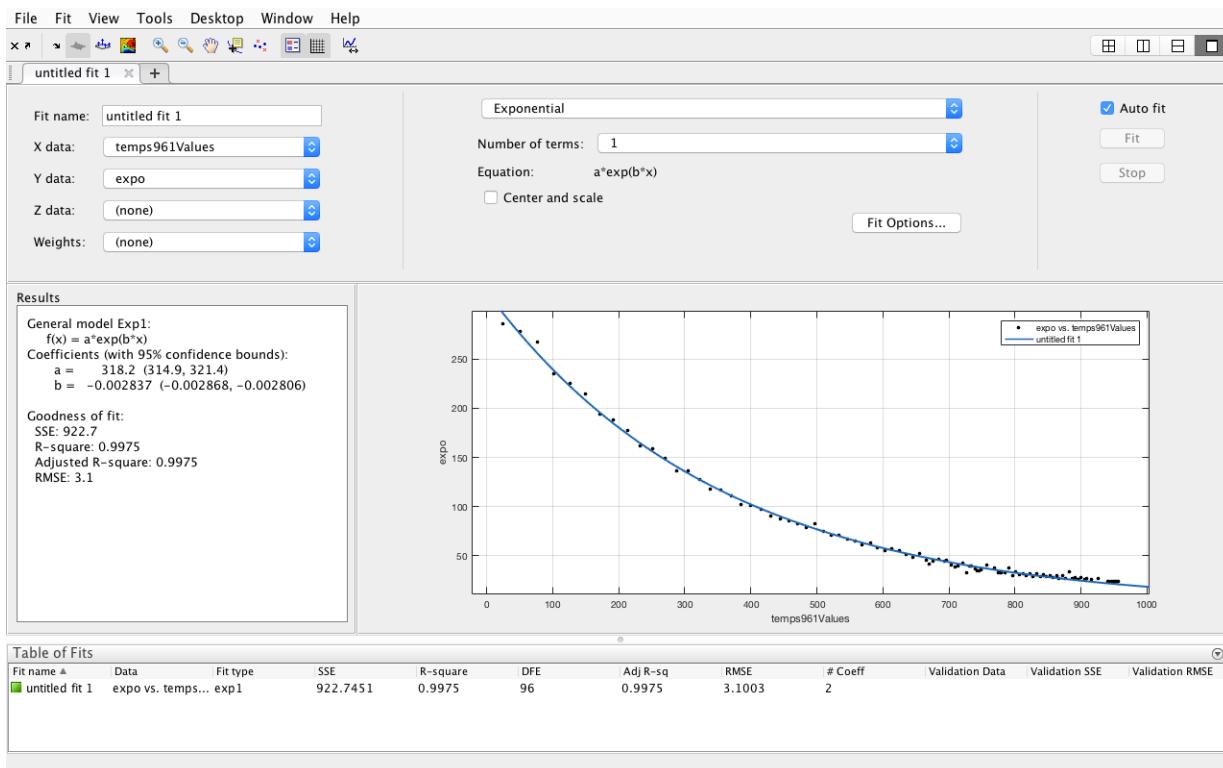


Ce que nous avons essayé par la suite est de retraiter nos données en enlevant les frottements mais nous n'avons pas réussi. La raison principale de cet échec est la difficulté à exprimer la force de frottement sur une surface non rigide. Son expression n'est plus aussi simple que pour une surface rigide (direction non normale au mouvement etc..)





Nous observons un amortissement exponentiel, ce qui correspond à un frottement fluide. Nous voulions réanalyser nos données en soustrayant les frottements fluides de sorte à savoir si les orbites gravitationnelles et les orbites sur un milieu élastique sont comparables car les orbites gravitationnelles ne sont pas sujettes aux frottements.

[\(Edit Section\)](#)

2.3 Expérience 3 : Oscillations de la membrane élastique et miroirs

ci-dessous lien de la vidéo de l'expérience : https://drive.google.com/open?id=0B6X1MX_2KgW6X2NKVWIqQXICUHc

Suite à cette expérience, nous n'avons pas pu extraire de données. Nous aurions plus particulièrement souhaité pouvoir exploiter l'amplitude de l'oscillations du LASER. Cependant nous n'avons pas pu faire cela par manque de temps et car nous ne savions pas comment interpréter physiquement les données extraites de cette expérience.

[\(Edit Section\)](#)

Conclusion :

Dès la première expérience nous avons rencontré un premier problème nous empêchant de valider cette analogie : les profils de déformation que l'on pouvait obtenir et ceux attendus théoriquement étaient trop différents. Ensuite nous avons tout de même continué à comparer les lois théoriques (Lois de Kepler, conservation du moment cinétique...) avec ces déformations. De nouveau, nous avons constaté que ces lois n'étaient pas valables en présence de frottements. Nous pouvons alors conclure que cette analogie n'est pas valable dans le cadre de notre expérience.

Page last modified on May 09, 2017, at 11:01 AM