



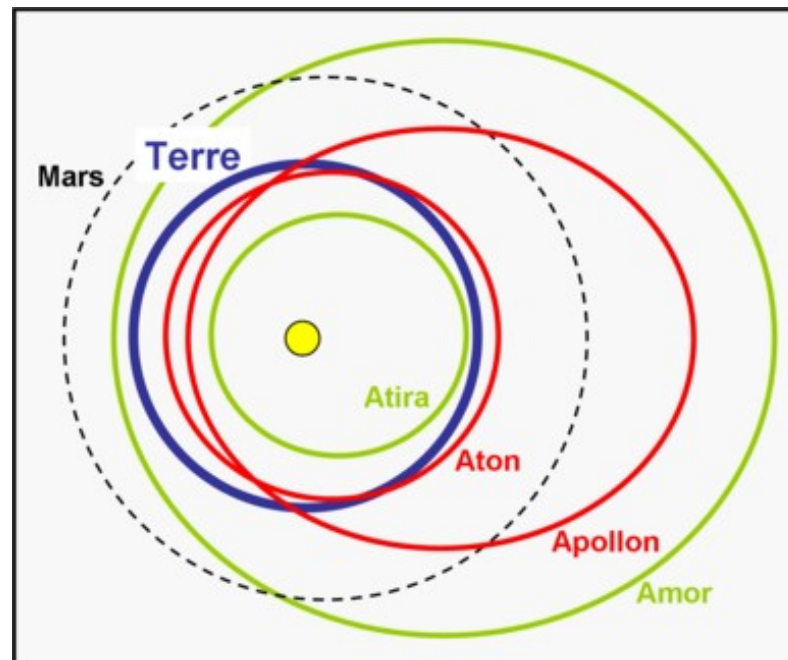
# Évaluation de la possibilité d'une collision de la Terre avec un astéroïde

Dans quelle mesure l'utilisation de l'outil informatique est-elle intéressante pour la prévention d'impact d'astéroïdes ?

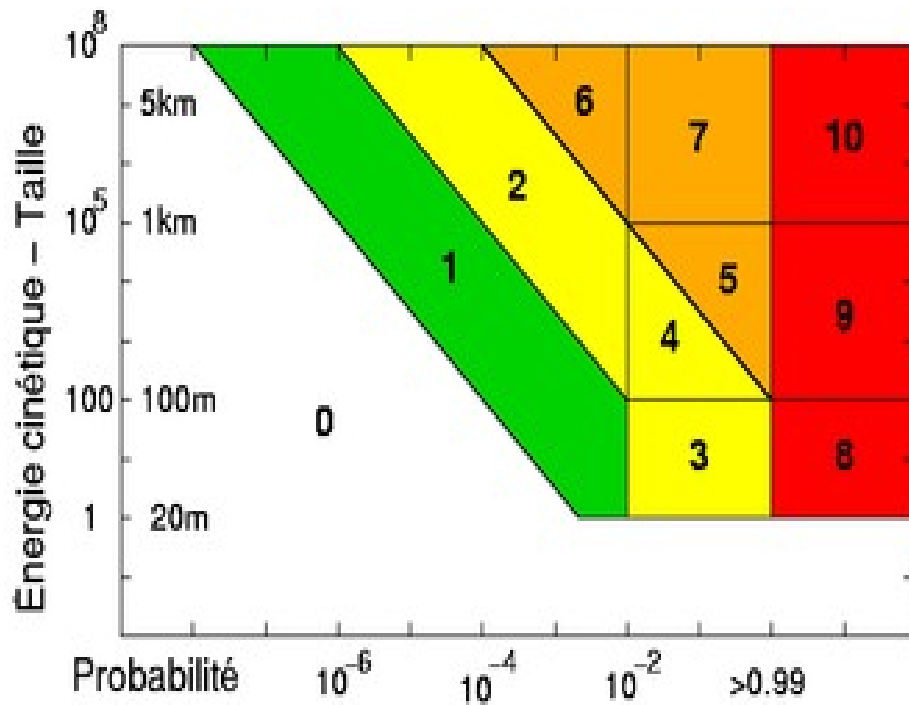
- I. Description du contexte
- II. Recherche des points d'impacts par une modélisation simple
- III. Prise en compte du paramètre temporel
- IV. Conclusions

## Qu'est ce qu'un astéroïde ?

- Planètes mineures
- Composition à base de roches, métaux et glaces
- Restriction aux géocroiseurs



## Quelques exemples d'impacts



Échelle de Turin

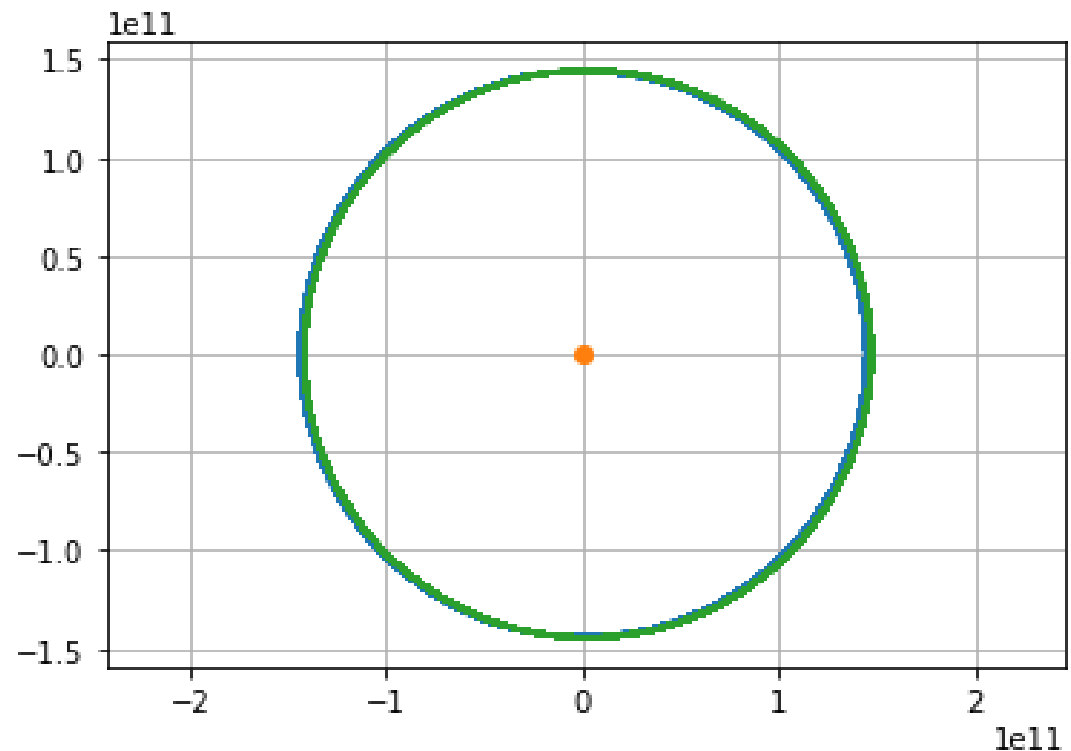


Cratère Barringer

# Modélisation de la seconde loi de Newton en python

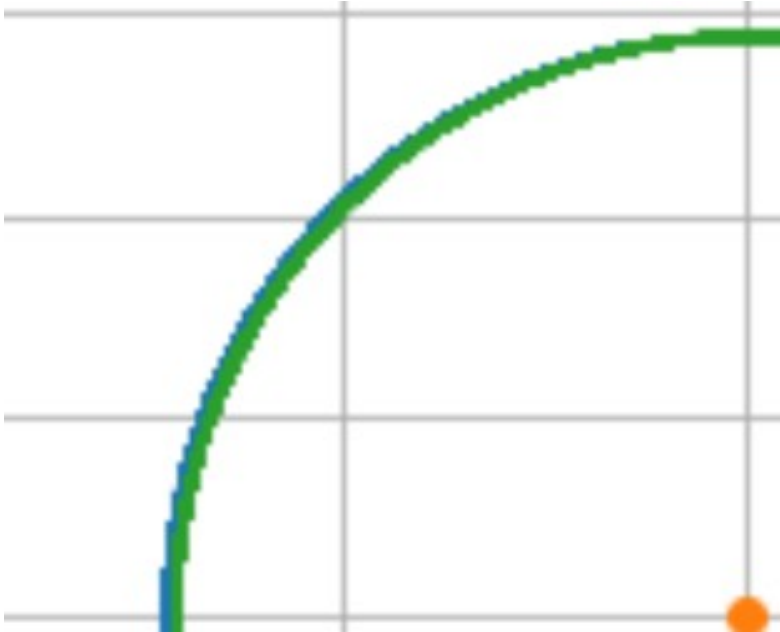
```
def f(y,t,mu):  
    x = y[0:3].copy()  
    v = y[3:6].copy()  
    r = np.sqrt(x[0]**2+x[1]**2+x[2]**2)  
    dxdt = v  
    dvdt = -mu*x/r**3  
    dy = np.hstack((dxdt,dvdt))  
    return dy
```

2<sup>nde</sup> loi de Newton

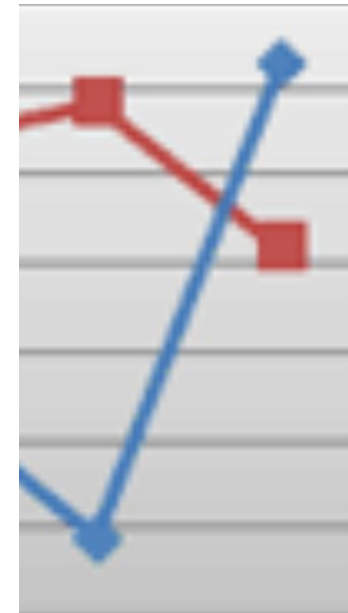


Orbites de la Terre et de Aton

## Problématiques rencontrées



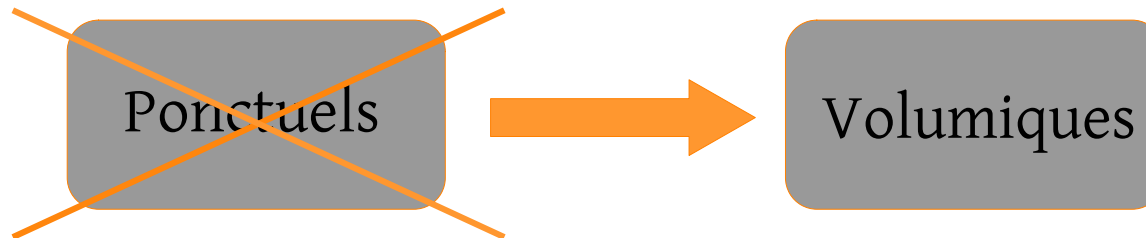
Incertitude de la lecture graphique



Imprécision due à la discrétisation

## Amélioration du modèle par une modélisation de l'aspect volumique

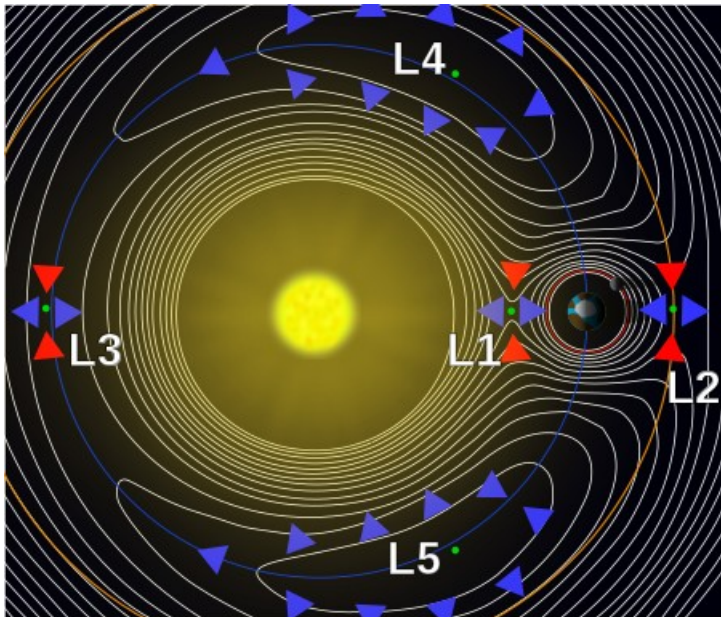
-Objets astraux :



-Prise en compte des Atira et Amor

## Prise en compte de la sphère d'influence de la Terre

- Les interactions Terre-Astéroïde ne sont pas à négliger
- Utilisation du concept de sphère de Hill en approximation



Sphère de Hill de la Terre

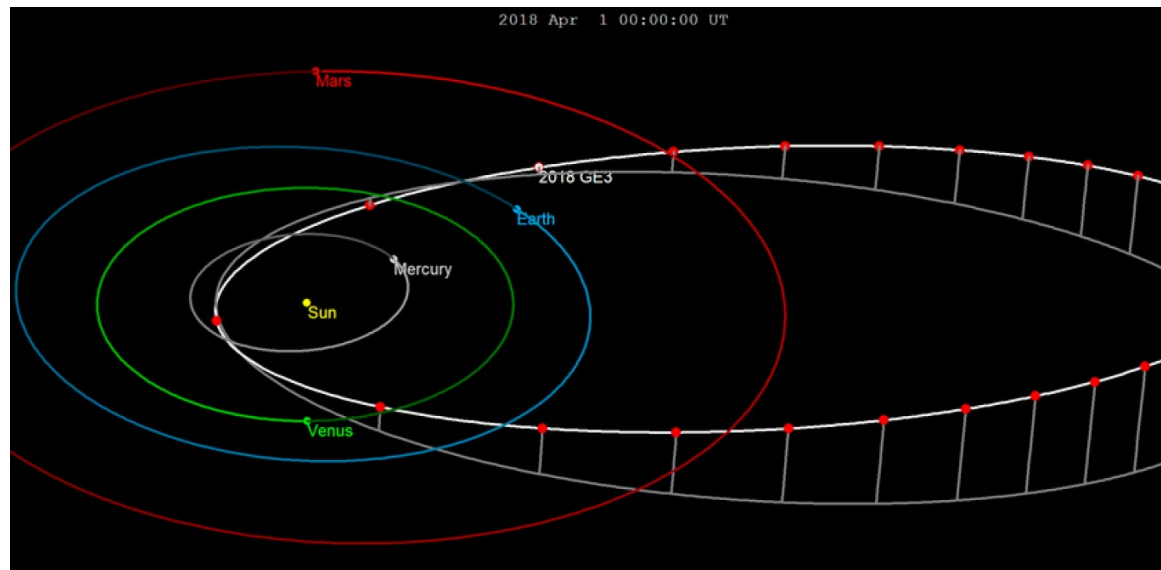
$$r \approx a \sqrt[3]{\frac{m}{3M}}$$

Rayon d'influence



# Étude de l'implémentation d'un paramètre temporel

- Aspect probabiliste à ne pas négliger
- Aucun réalisme si on se place uniquement sur un modèle spatial



Exemple de trajectoires passant par celle de la Terre

## Méthode retenue

```
def implementation_temporelle(A,B,m1,m2,a):  
    ab1=A[0,:]   
    h1=A[1,:]   
    ab2=B[0,:]   
    h2=B[1,:]   
    i=0   
    Rinf=a*((m1/m2)**(2/5))   
    L=[[0,0,0],[0,0,0]]   
    for k in range(1,len(ab1)):  
        if abs(ab1[k-1]-ab2[k-1])>Rinf:  
            if abs(h1[k-1]-h2[k-1])>Rinf:  
                if abs(ab1[k]-ab2[k])<Rinf:  
                    if abs(h1[k]-h2[k])<Rinf:  
                        L[i][0]=k*((tend-t0)/nt)  
                        L[i][1]=(ab1+ab2)/2  
                        L[i][2]=(h1+h2)/2  
                        i=i+1  
    if i==0:  
        return (False)
```

On recherche un moyen de comparer à chaque instant les positions des deux astres et vérifier si le plus petit astre va entrer dans la sphère d'influence du plus gros.

**False**

Résultat sur Aton et la Terre

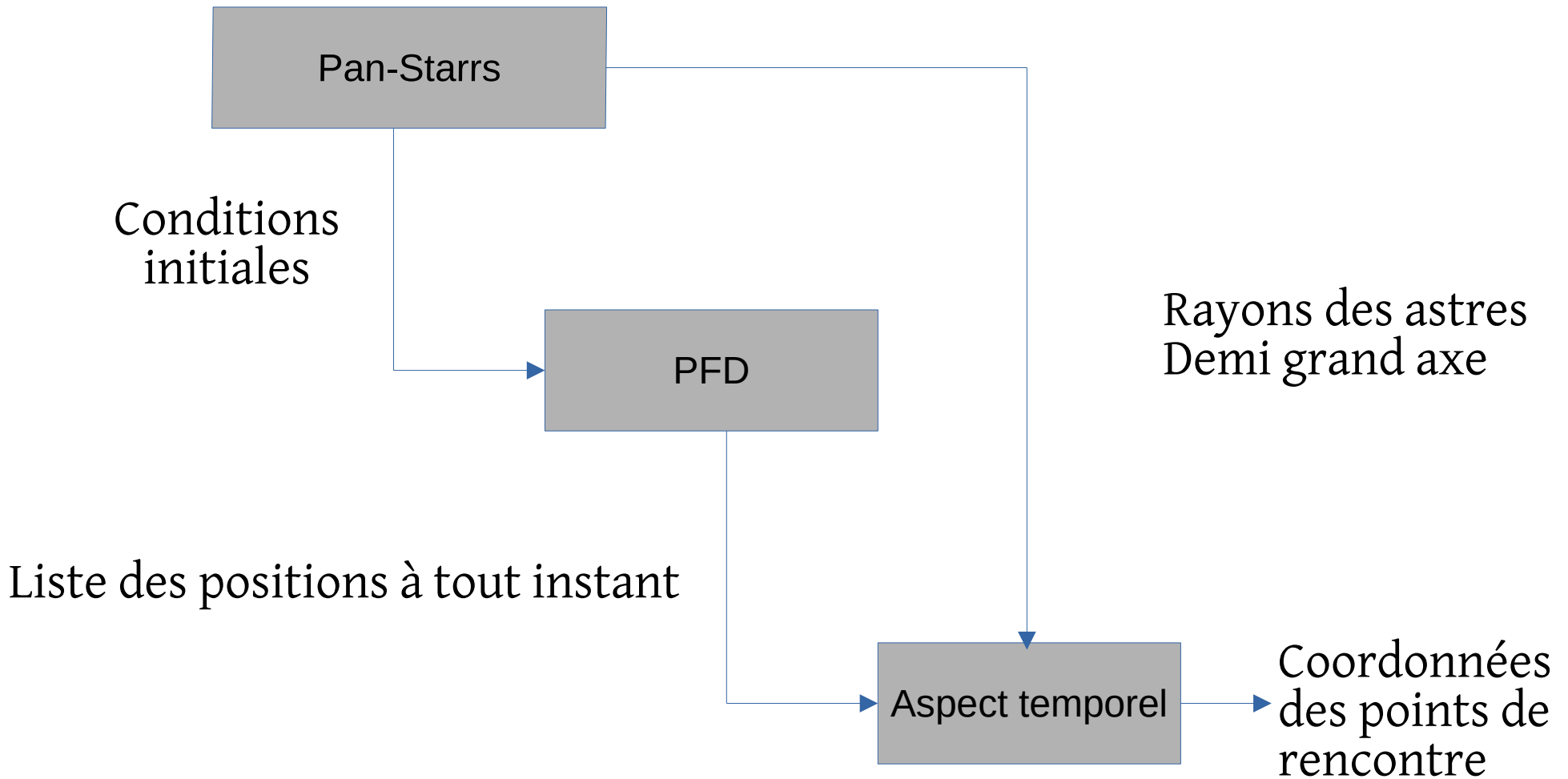
## Comparaison de la précision de nos résultats

- Nette amélioration du modèle
- Possibilité d'utilisation couplées avec des bases de données
- Après l'aspect volumique: 5000
- Après l'aspect temporel: 0



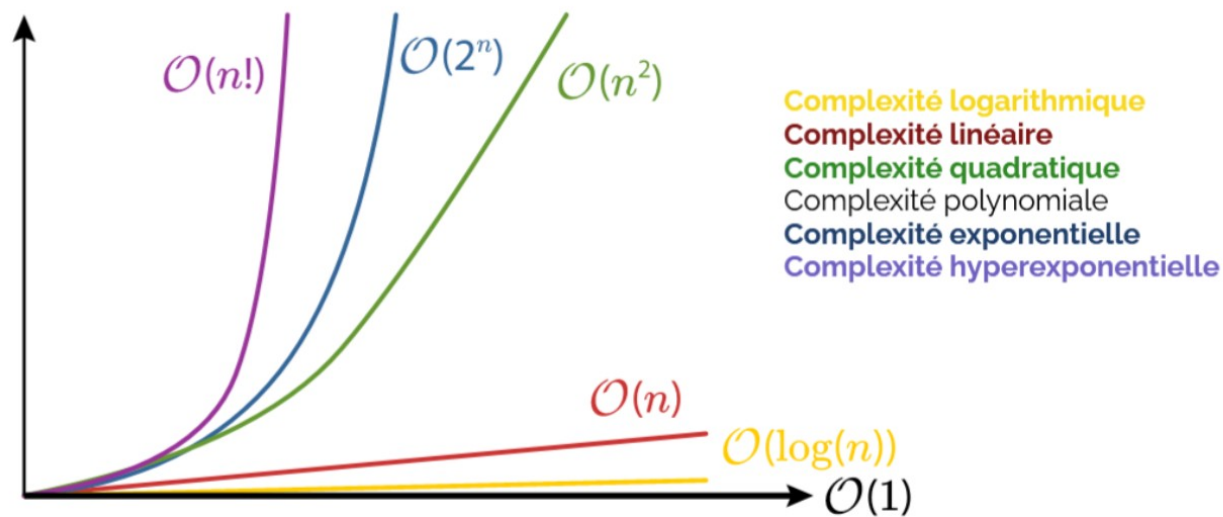
Pan-starrs: la plus grande BDD spatiale

## Schéma Bloc de l'algorithme



## Aspect de complexité

- Le paramètre déterminant est la longueur des listes de positions
- Complexité linéaire
- L'aspect temporel était une affaire de complexité quadratique



Nombre de calcul en fonction du nombre d'informations

# Sources

- Wikipedia : Géocroiseurs, Echelle de Turin, Cratère de Barringer
- <https://outerspace.stsci.edu/display/PANSTARRS/>
- L'Obs : Un gros astéroïde qui a frôlé la Terre a été repéré...
- Mars society of Canada

## Annexe 1 : Démonstration du rayon de la sphère de Hill

$$M_P \omega^2 d = G \frac{M_P M_*}{d^2} \iff \omega^2 = G \frac{M_*}{d^3}$$

$$\mu \omega^2 (d-r) = G \frac{\mu M_*}{(d-r)^2} - G \frac{\mu M_P}{r^2} \iff M_* \frac{d-r}{d^3} = \frac{M_*}{(d-r)^2} - \frac{M_P}{r^2}$$

$$M_* r^2 (d-r)^3 = M_* r^2 d^3 - M_P d^3 (d-r)^2$$

$$M_* r^2 (-3d^2 r + 3dr^2 - r^3) = -M_P d^3 (d^2 - 2dr + r^2)$$

$$M_* r^3 (-3d^2 + 3dr - r^2) = M_P d^3 (d^2 - 2dr + r^2)$$

$$\frac{r^3}{d^3} = \frac{M_P}{M_*} \frac{d^2 - 2dr + r^2}{3d^2 - 3dr + r^2}$$

$$\frac{r^3}{d^3} = \frac{M_P}{3M_*}$$

## Annexe 2 : Incertitude sur la lecture graphique de l'intersection des trajectoires

$$u_x^2 = u_c^2 + u_{lec}^2 + u_{spé}^2$$

Incertitude de type B

L'incertitude de lecture est négligeable car la plus petite graduation est de  $10^4\text{m}$  alors que les incertitudes spéciales sont de l'ordre de  $10^9\text{m}$

$$u_x = u_{spé} = 4,515 \cdot 10^9 / \sqrt{12} = 1,303 \cdot 10^9\text{m}$$

C'est énorme comme incertitude sur des valeurs où la précision compte