

Tri des déchets : le séparateur balistique

Le séparateur balistique

⇒ *Quel est le principe de fonctionnement du séparateur et quels sont les paramètres qui optimisent le tri des déchets ?*

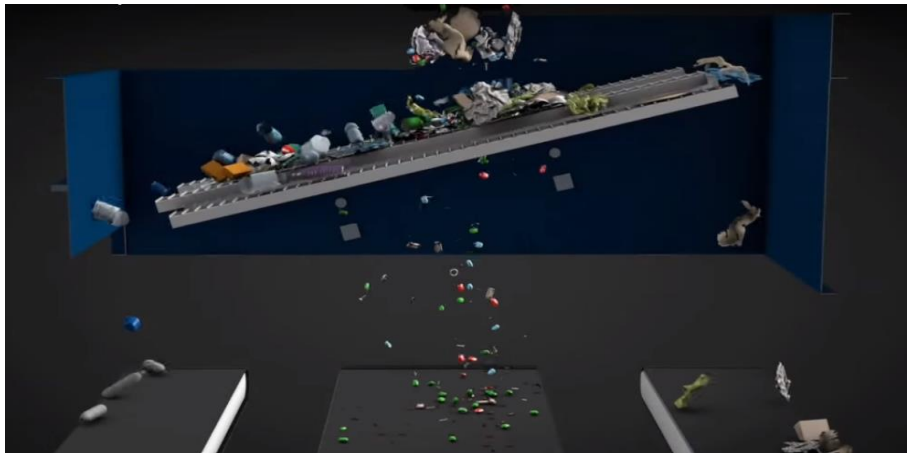


I. Présentation et fonctionnement du système

Principe de fonctionnement
Maquette

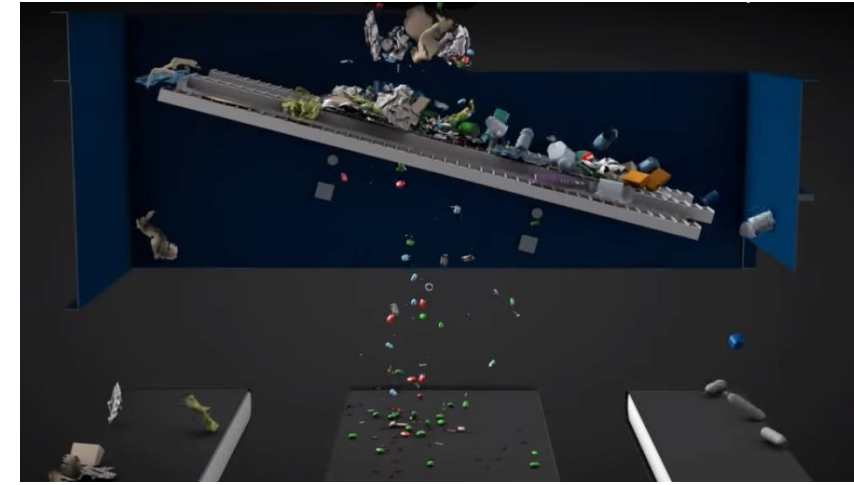
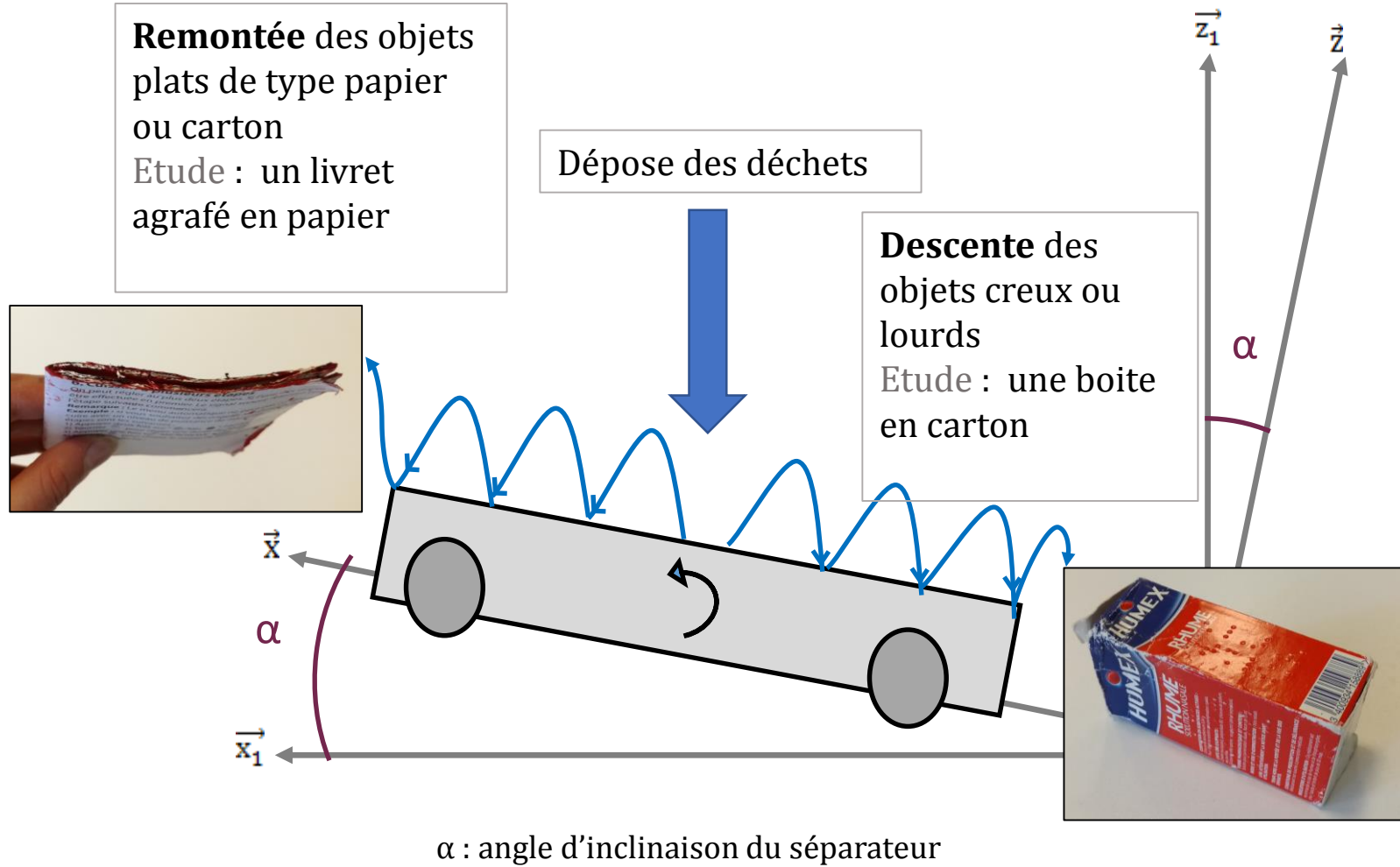
II. Remontée des objets plats

Trajectoire du papier
Prise en compte des frottements

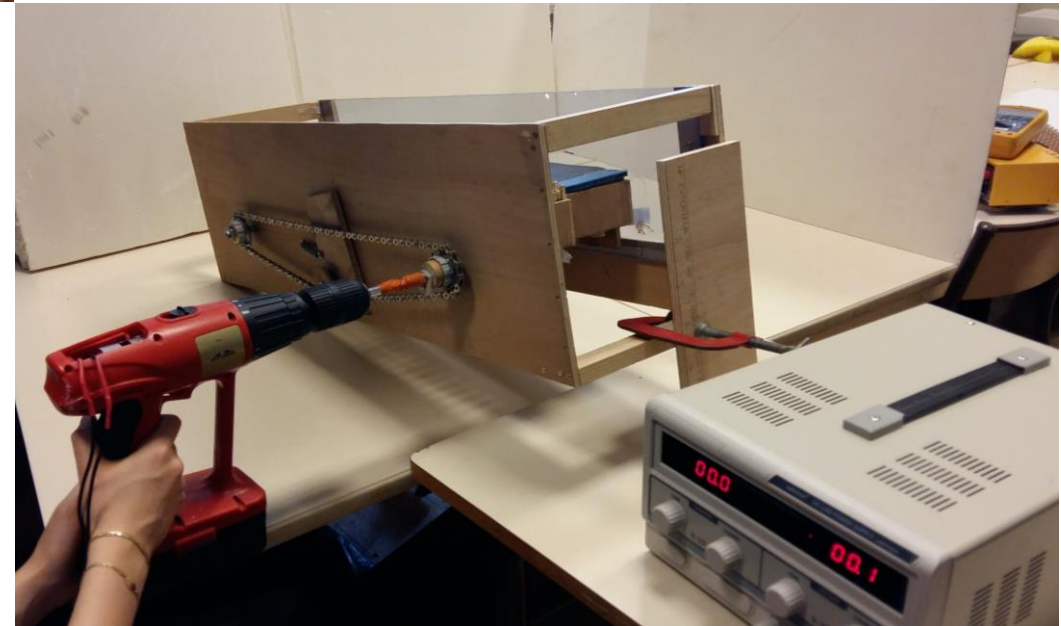


III. Approche de la chute des objets lourds ou creux

Simulation



Le séparateur balistique - I. Présentation et fonctionnement du système - Maquette et principe de fonctionnement















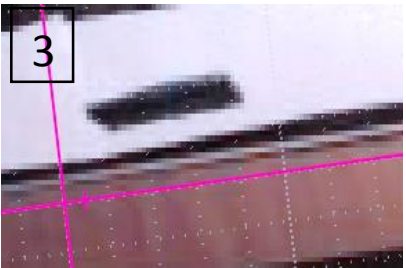
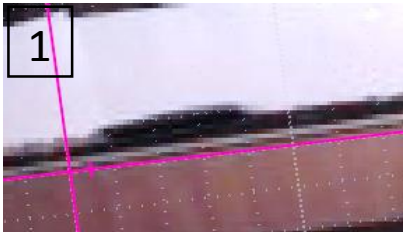




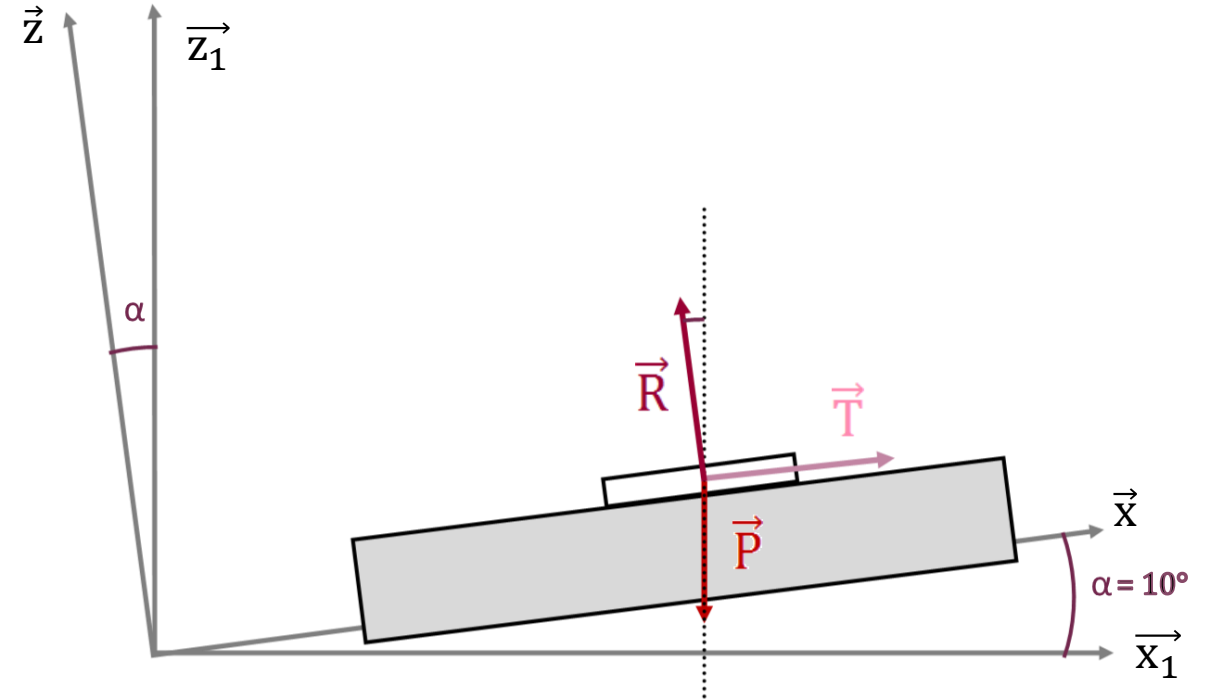
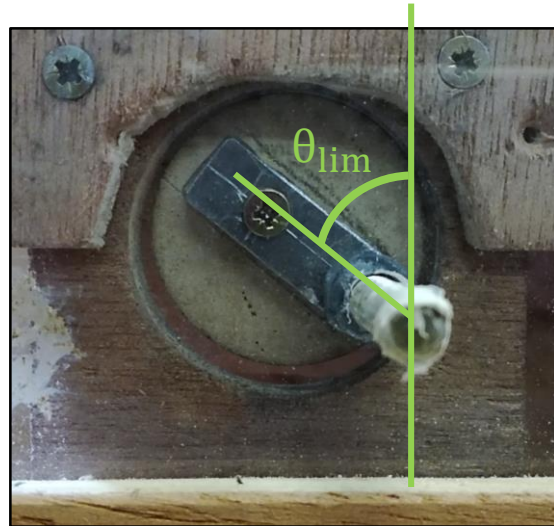


Conditions expérimentales de remontée du papier :

- support : papier de verre
- $\alpha = 10^\circ$
- $\dot{\theta} = 42,7 \text{ rad/s}$



→ Image 1 et 2 : Le papier décolle du séparateur : détermination de l'angle limite



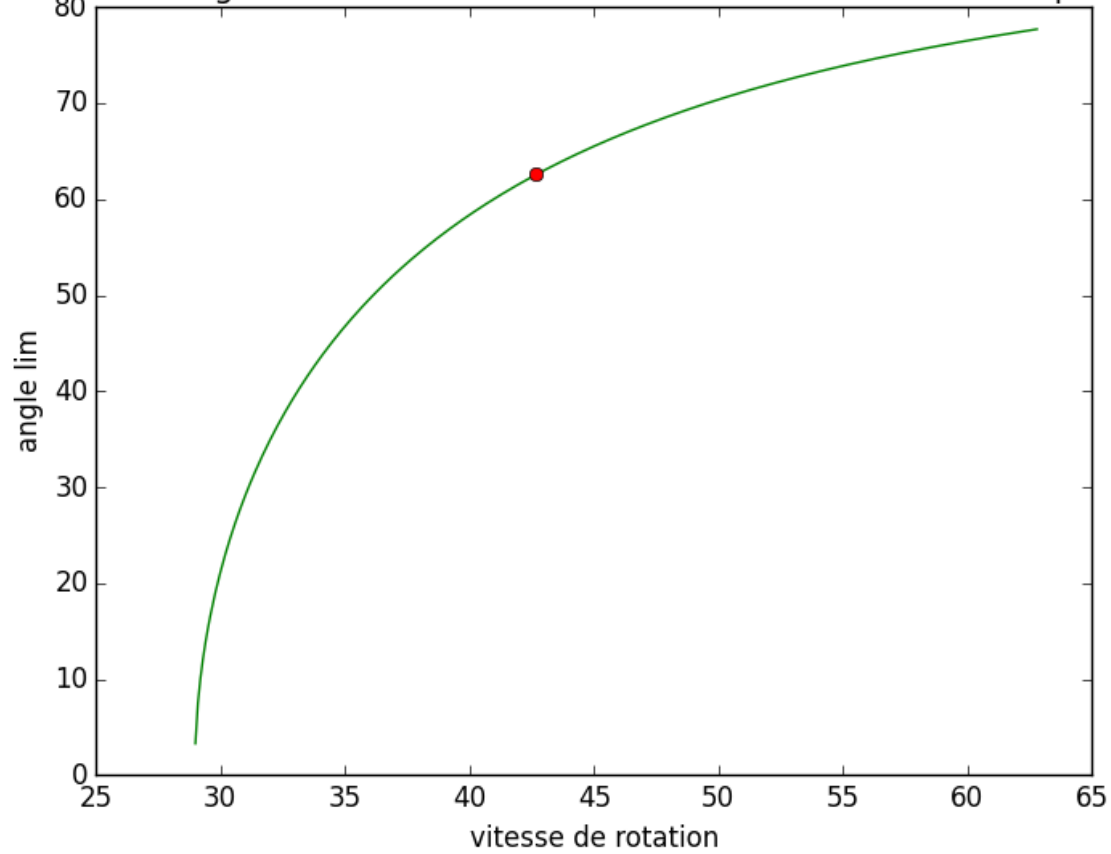
PFD appliqué au papier :

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{R}$$

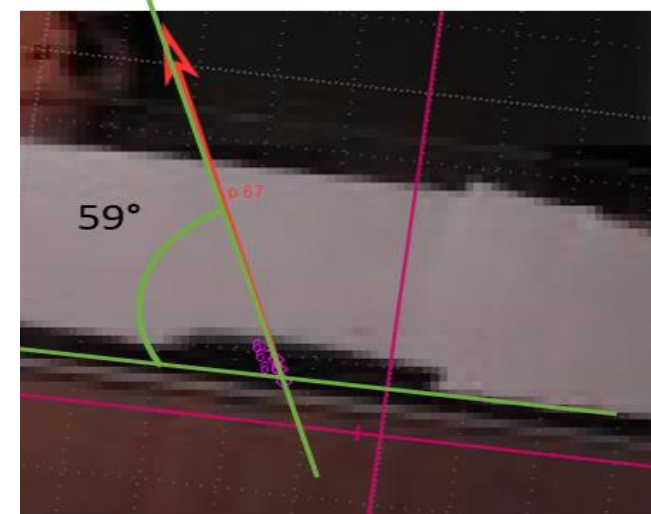
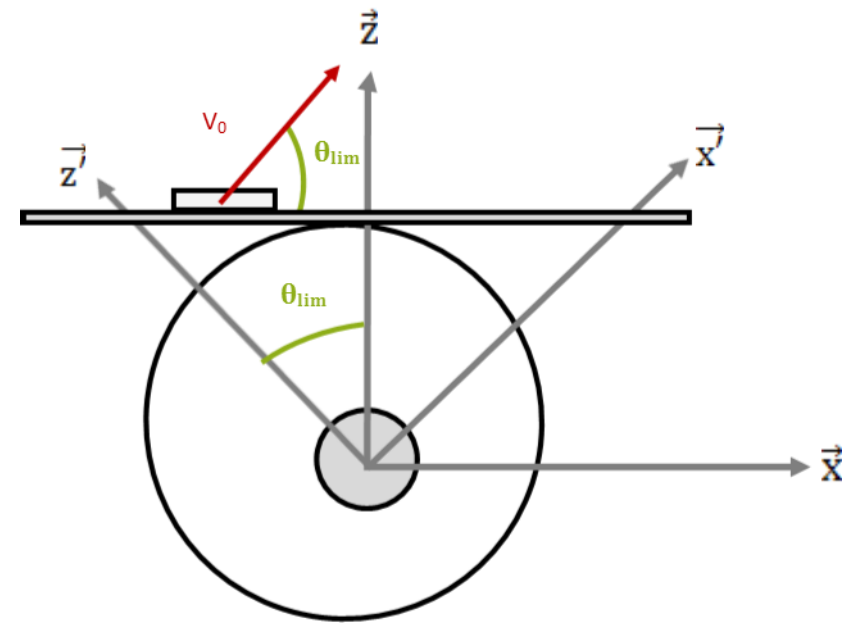
Décolle quand R s'annule :

$$\theta_{\text{lim}} = \arccos \left(\frac{g \cos(\alpha)}{e \dot{\theta}^2} \right)$$

Valeur de l'angle limite en fonction de la vitesse de rotation du séparateur



Si $\dot{\theta}$ diminue, θ_{lim} diminue.
 \Rightarrow le papier décolle plus tard



$$\theta_{\text{lim}} = 62,5^\circ$$

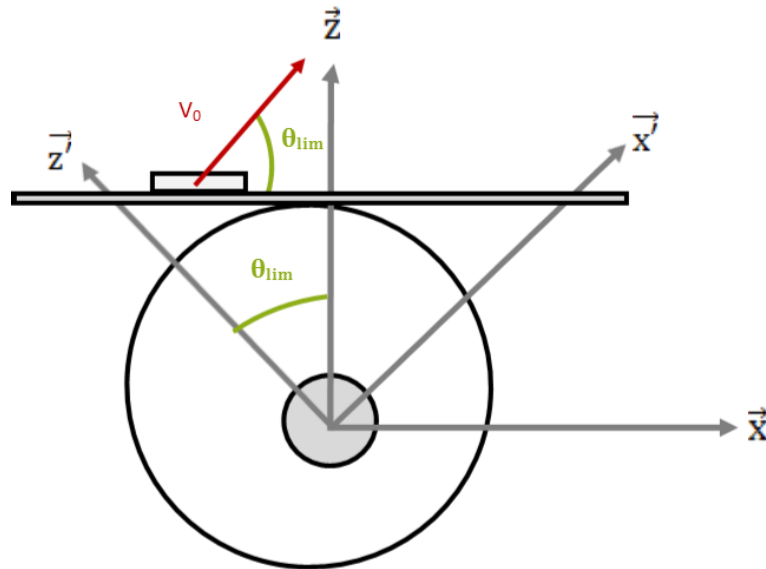
$$\theta_{\text{exp}} = 59^\circ$$



→ Image 1 et 2 : Le papier décolle du séparateur :
détermination de la vitesse initiale

$$\theta_{\text{lim}} \text{ existe si } \left| \frac{g \cos(\alpha)}{e \dot{\theta}^2} \right| \leq 1$$

$$\text{Le papier peut décoller si } \dot{\theta} \geq \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{e}}$$



Expérience :

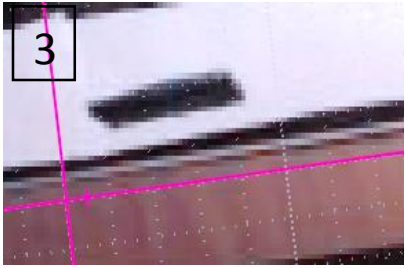


$$\dot{\theta} = 31 \text{ rad/s soit } 297 \text{ tour/min}$$

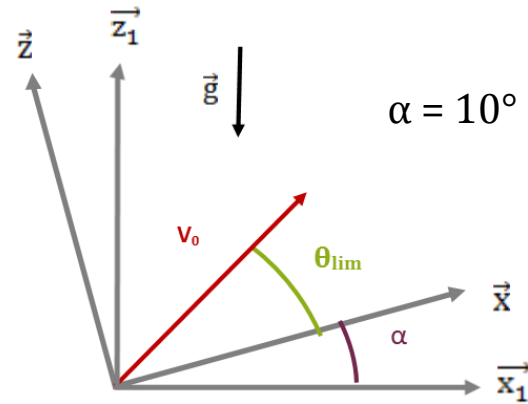
$$\dot{\theta}_{\text{exp}} \approx 290 \text{ tour/min}$$

$$\|\vec{v}_0\| = e \times \dot{\theta}$$

$$\|\vec{v}_{0\text{th}}\| = 0,43 \text{ m/s} \quad \|\vec{v}_{0\text{exp}}\| = 0,45 \text{ m/s}$$

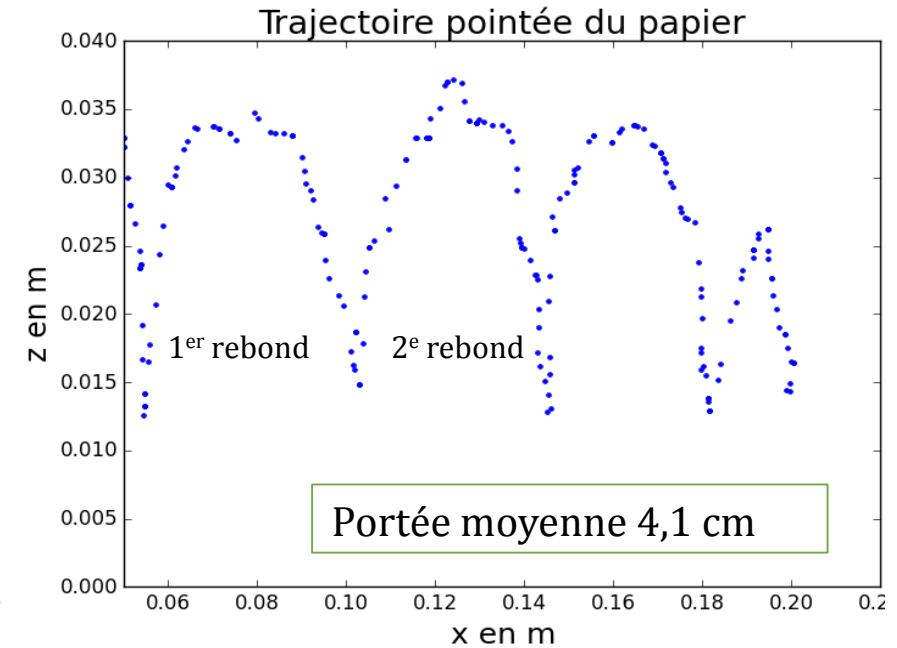
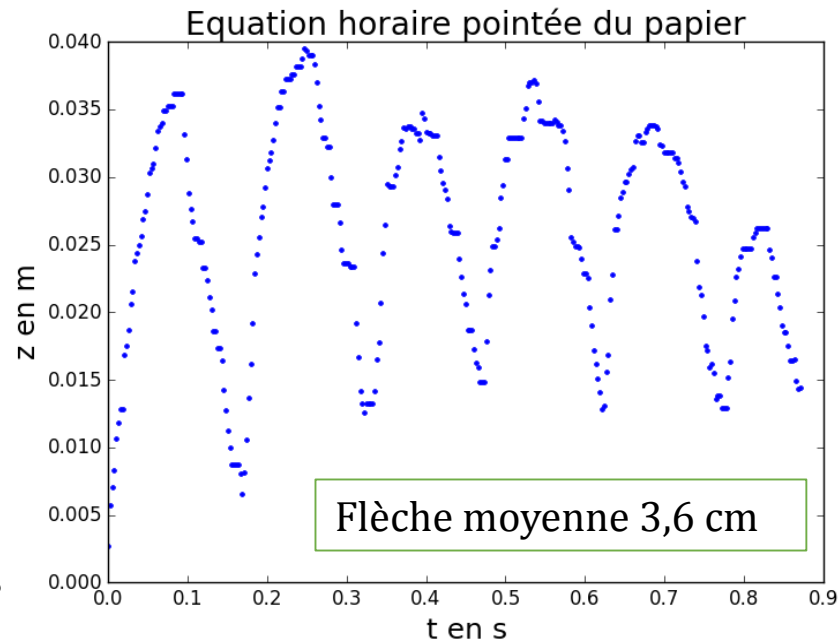
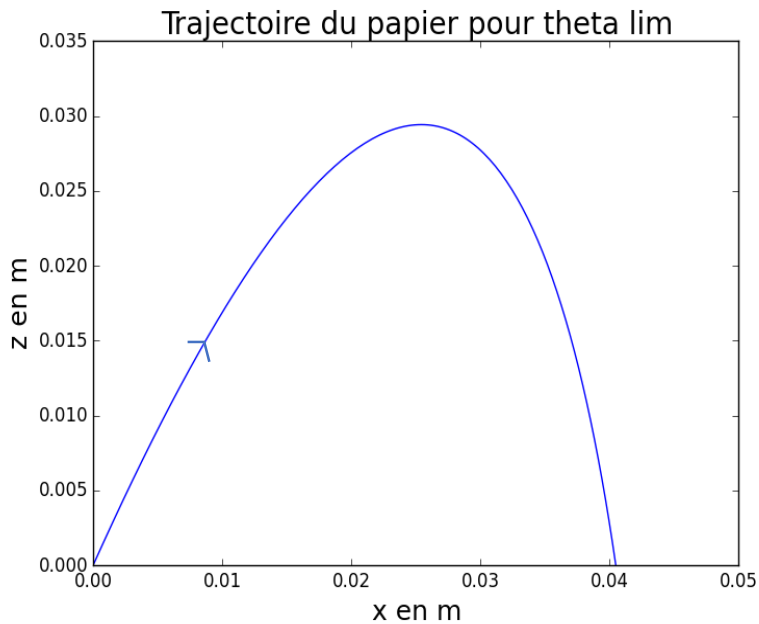


→ Image 3 : Le papier décolle du séparateur : phase de chute libre



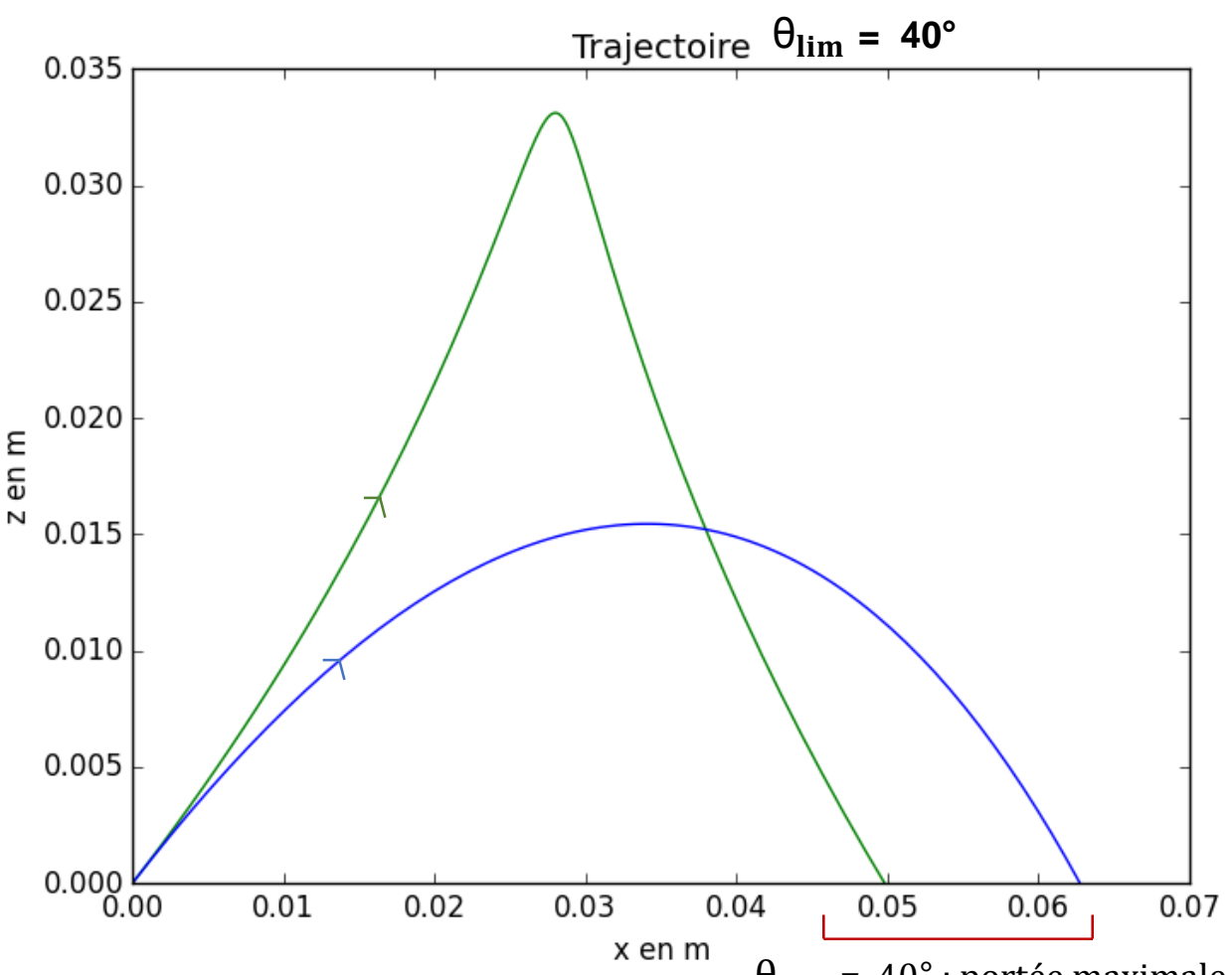
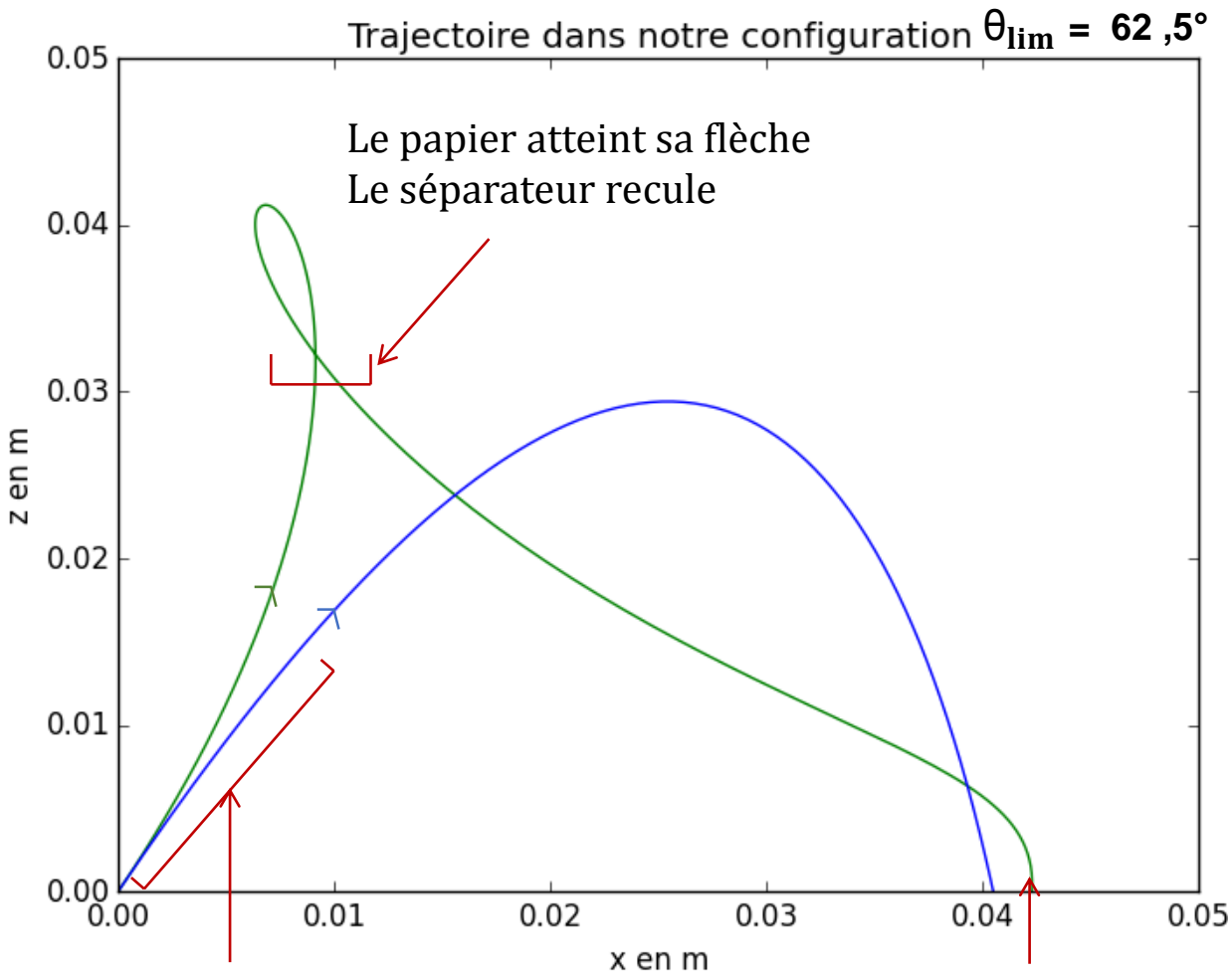
$$z(t) = \frac{-g \cos(\alpha)}{2} t^2 + v_0 \sin(\theta_{\text{lim}}) t$$

$$x(t) = \frac{-g \sin(\alpha)}{2} t^2 + v_0 \cos(\theta_{\text{lim}}) t$$

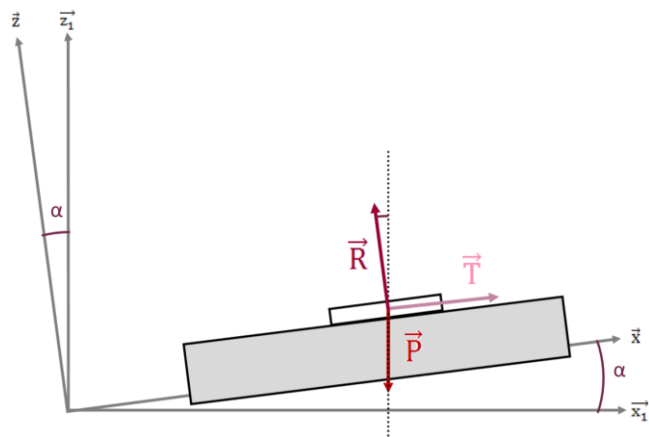


⇒ **Portée effective du papier**

- Trajectoire avec mouvement de la pale négligé
- Trajectoire par rapport à la pale en mouvement



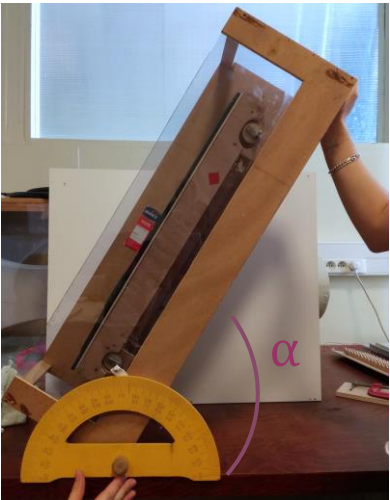
Le séparateur balistique - II. Remontée des objets plats- **Prise en compte des frottements**



$m \vec{a} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{R}$ Glissement si $T > T_{lim}$ et $T_{lim} = f R$

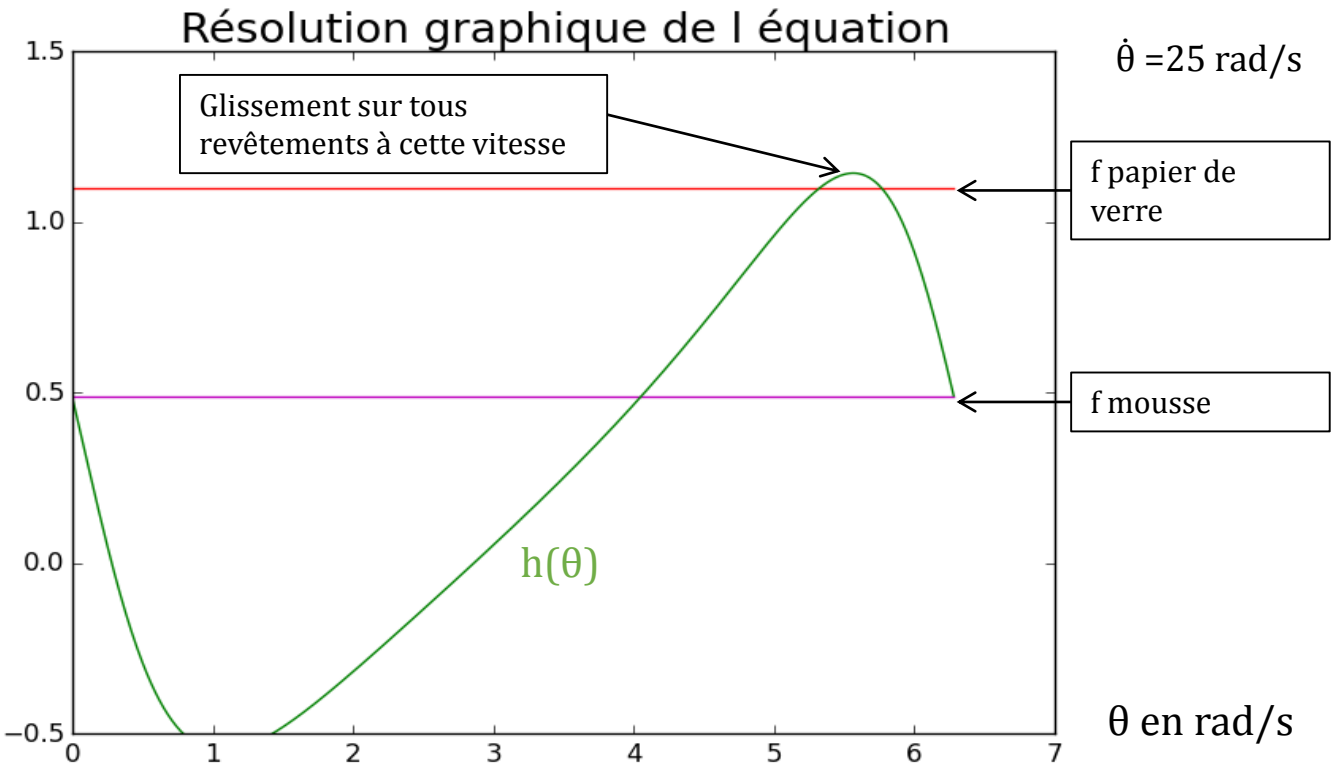
Glissement si $h(\theta) = \frac{-e \dot{\theta}^2 \sin(\theta) + g \sin(\alpha)}{-e \dot{\theta}^2 \cos(\theta) + g \cos(\alpha)} > f$

Expérience : détermination de f - coefficient de frottement



Glissement dès que $f = \tan (\alpha)$

Mousse/papier : $f = 0,49 \pm 0,01$
Papier de verre/papier : $f = 1,10 \pm 0,03$



$\dot{\theta} > \dot{\theta}_{lim} = 24,5 \text{ rad/s}$: glissement sur tous revêtements

















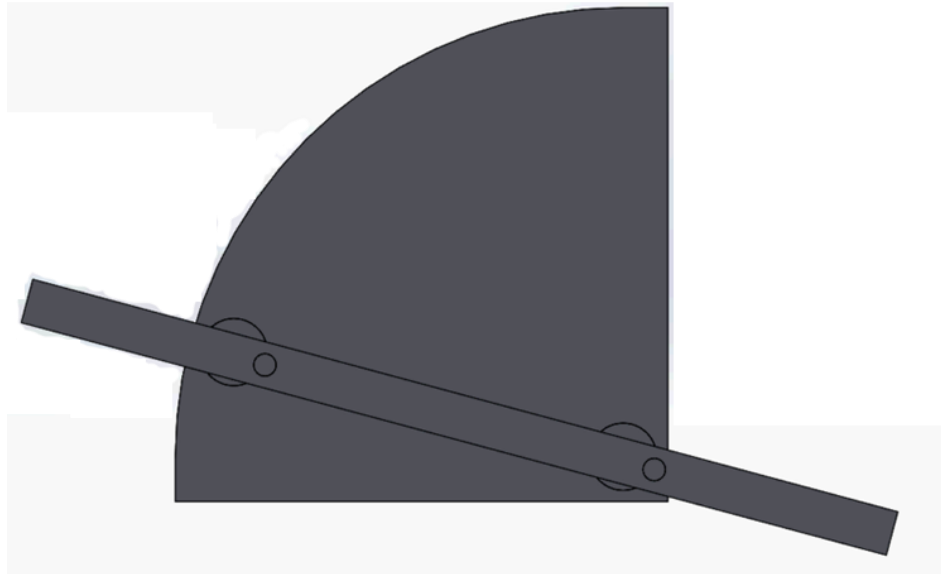




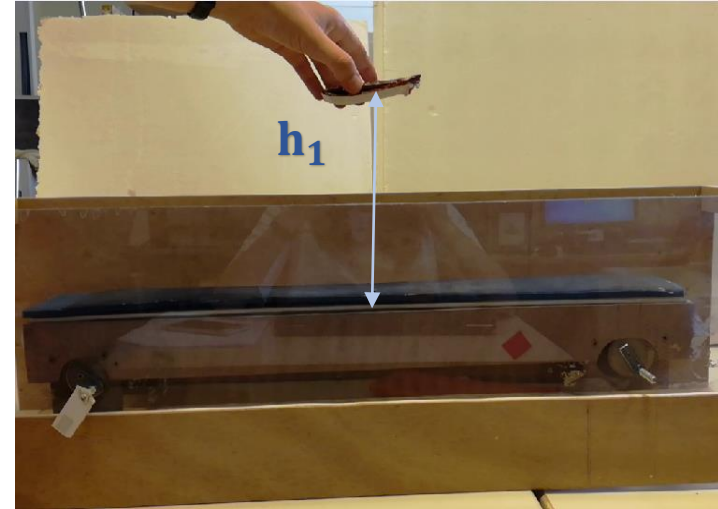




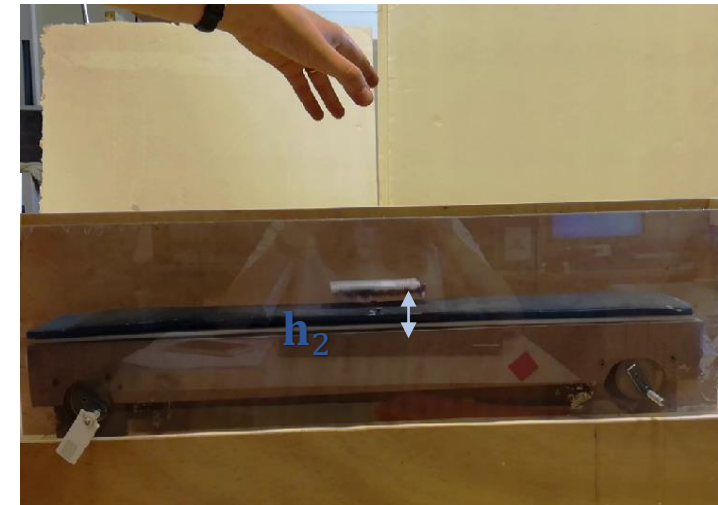
Modèle du séparateur SolidWorks :



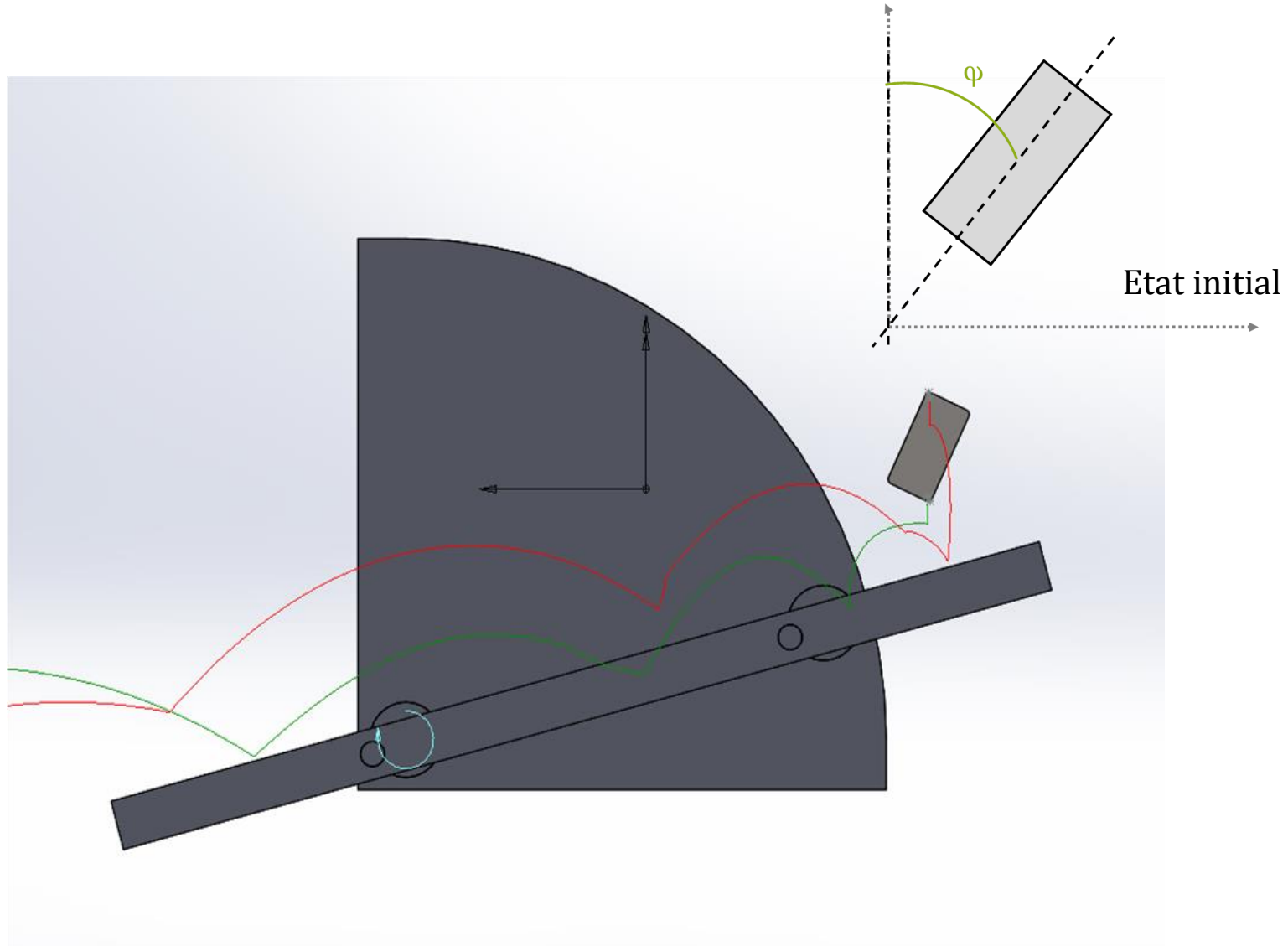
Expérience : Mesure du coefficient de restitution



$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$



Boite : $e = 0,41$
Papier : $e = 0,28$



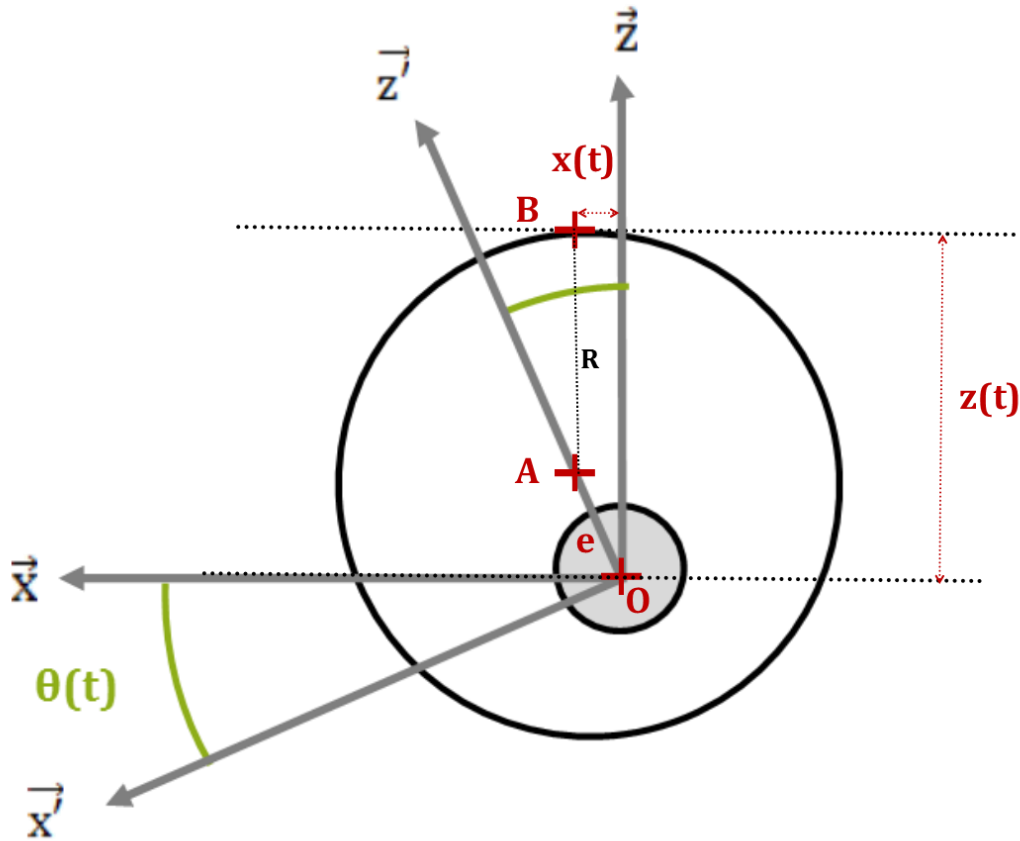
Dans la majorité des configurations : la boîte bascule ou rebondit vers le bas

Le séparateur balistique - Conclusion

- Reproduction du système grâce à la maquette
- Observations validées par la théorie ou la simulation
- Optimisation du tri grâce à différents paramètres
- Etude très restreinte comparée à la machine réelle



ANNEXE – Equations de mouvement du séparateur



Fermeture géométrique : $\overrightarrow{OB} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AB}$

$$z(\theta) = \overrightarrow{OA} \cdot \vec{z} + R = e \cos(\theta) + R$$

$$x(\theta) = e \sin(\theta)$$

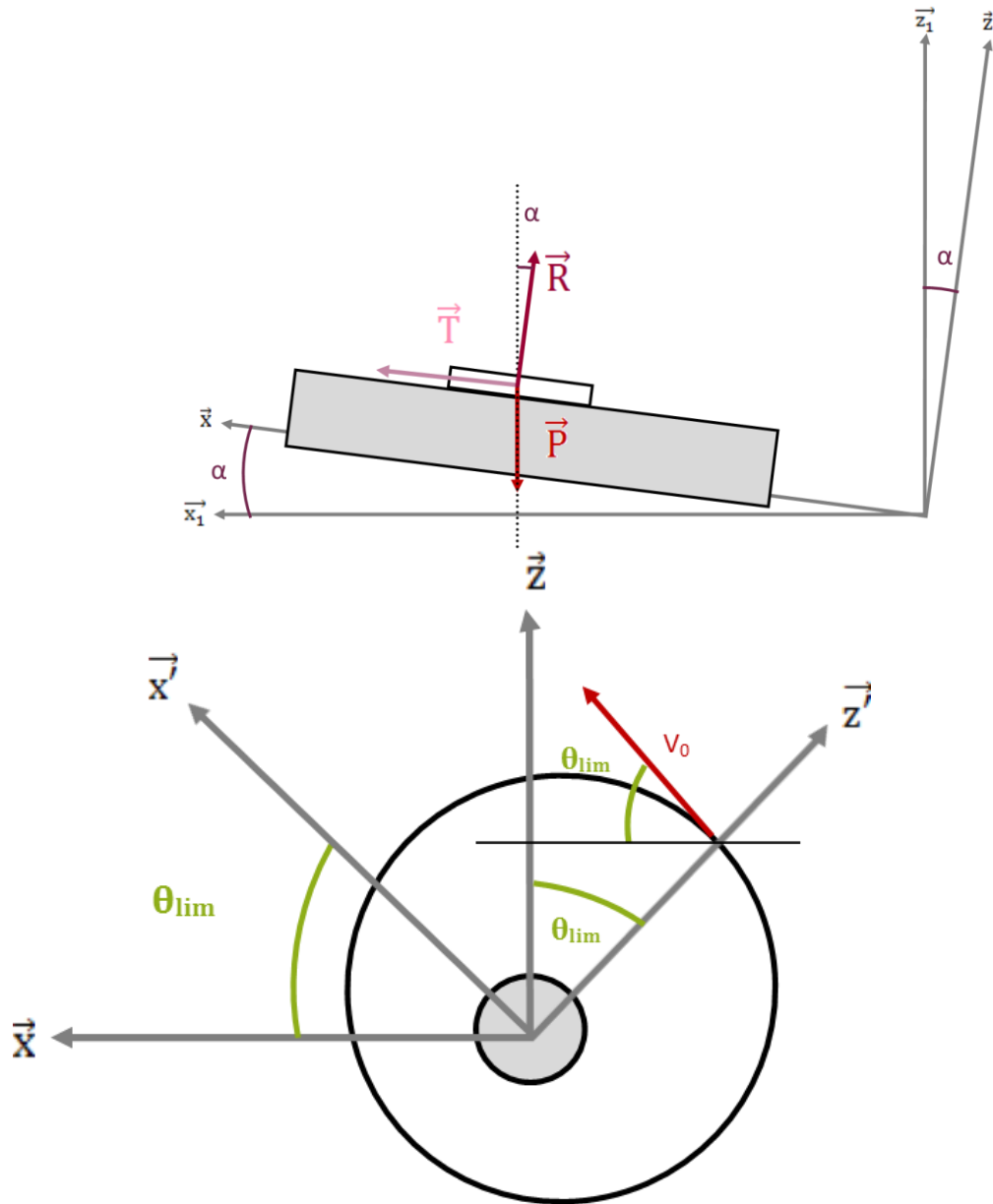
$$\dot{z}(\theta) = -e \dot{\theta} \sin(\theta)$$

$$\dot{x}(\theta) = e \dot{\theta} \cos(\theta)$$

$$\ddot{z}(\theta) = -e \dot{\theta}^2 \cos(\theta)$$

$$\ddot{x}(\theta) = -e \dot{\theta}^2 \sin(\theta)$$

ANNEXE – Diapositive 5 - Angle limite de décollement



PFD appliqué au papier :

$$m \vec{a} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{R}$$

$$\vec{z} \quad -m e \dot{\theta}^2 \cos(\theta) = R - mg \cos(\alpha)$$

Le papier décolle quand R s'annule :

$$e \dot{\theta}^2 \cos(\theta) = g \cos(\alpha)$$

$$\theta_{lim} = \arccos \left(\frac{g \cos(\alpha)}{e \dot{\theta}^2} \right)$$

ANNEXE – Diapositive 9 - phase de chute libre – Programme Python

```
k=10*np.pi/180 #angle d'inclinaison du séparateur
v0=0.45 #vitesse de départ
```

```
def omz(t,lim):
    return -g*np.cos(k)*t*t/2+v0*np.sin(lim)*t
```

```
def omx(t,lim):
    return -g*np.sin(k)*t*t/2+v0*np.cos(lim)*t
```

```
def olo(t,lim):
    return e*np.cos(lim)+0.08
```

```
def olopz(t,lim):
    return e*np.cos(v*t+lim)+0.02
```

```
def olopx(t,lim):
    return e*np.sin(v*t+lim)
```

```
T=np.arange(0,4,0.001)
```

```
import scipy.integrate as sci
```

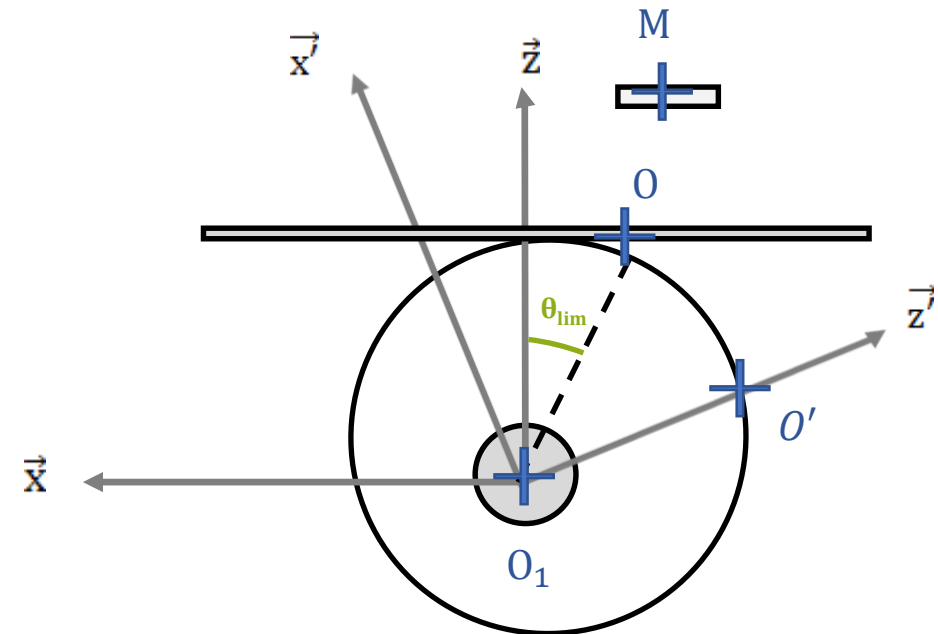
```
def th(t):
    return (62.5*np.pi/180 + 42.7*t)*180/np.pi
theta=[]
for t in T:
    theta=theta+[th(t)]
```

```
def porteemax():
    Z=[]
    X=[]
    lim=40*np.pi/180
    for t in T:
        Z=Z+[omz(t,lim)+olo(t,lim)-olopz(t,lim)-0.06]
        X=X+[omx(t,lim)+olopx(t,lim)-e*np.sin(lim)]
    resuz= sci.odeint(lambda Y,t: [ Y[1], -g*np.cos(k) ] , [0, v0*np.sin(lim)], T)
    Z1=resuz[:,0]
    resux=sci.odeint(lambda Y,t: [ Y[1], -g*np.sin(k) ] , [0, v0*np.cos(lim)], T)
    X1=resux[:,0]
```

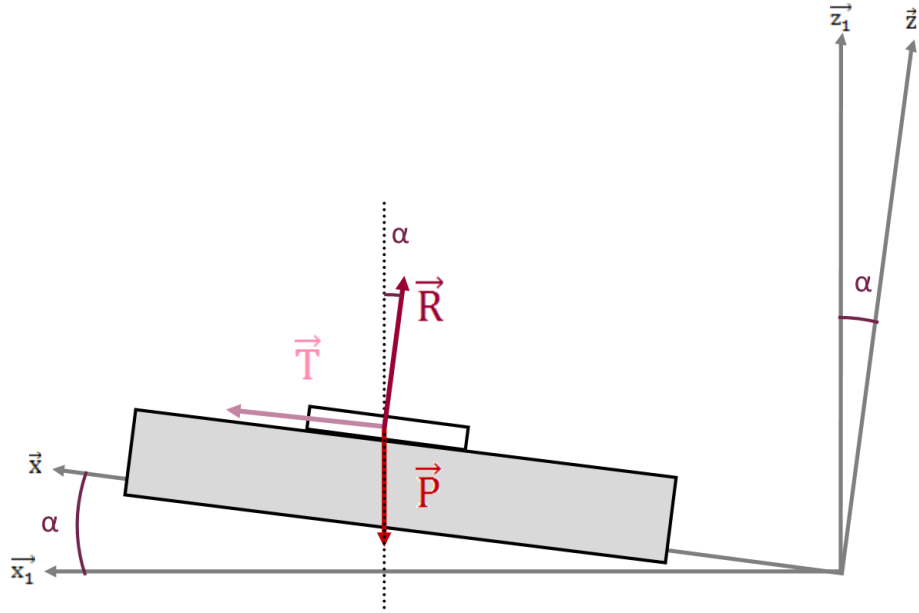
```
plt.plot(X,Z,'b',X1,Z1,'g')
plt.show()
plt.axis([0,0.07,0,0.035])
plt.xlabel('x en m')
plt.ylabel('z en m')
plt.title('Trajectoire ')
```

Décomposition vectorielle :

$$\overrightarrow{O'M} = \overrightarrow{O'O_1} + \overrightarrow{O_1O} + \overrightarrow{OM}$$



ANNEXE – Diapositive 10 – Prise en compte des frottements



```
a=10*np.pi /180  #inclinaison séparateur
```

```
f=0.49
f1=1.1
```

```
e=0.01
g=9.81
vrad=36.5
```

```
theta=np.arange(0, 2*np.pi, 0.01)
V= glissement(24.8, theta)
W=[1.1 for i in theta]
W1=[0.49 for i in theta]
```

```
def glissement(w, th) :
    return (-e*w**2*np.sin(th) + g* np.sin(a) ) / (-e* w**2 * np.cos(th)+g * np.cos(a))
```

```
def repr_glissement() :
    plt.plot(theta, W1, 'm', theta, W, 'r', theta, V, 'g')
    plt.axis([0,7, -0.5, 1.5])
    plt.title('Résolution graphique de l équation à ', 'left', fontsize=20)
```

$$m \vec{a} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{R}$$

$$\vec{x} \quad -m e \dot{\theta}^2 \cos(\theta) = R - mg \cos(\alpha)$$

$$\vec{z} \quad -m e \dot{\theta}^2 \sin(\theta) = -m g \sin(\alpha) + T$$

Glissement si $T > T_{\text{lim}}$ et $T_{\text{lim}} = f R$

$$T = -m e \dot{\theta}^2 \sin(\theta) + mg \sin(\alpha) > f [-m e \dot{\theta}^2 \cos(\theta) + m g \cos(\alpha)]$$

Glissement si $\frac{-e \dot{\theta}^2 \sin(\theta) + g \sin(\alpha)}{-e \dot{\theta}^2 \cos(\theta) + g \cos(\alpha)} > f$