

Colpier Clément  
Fornara Thibault  
Pellegrino Guillaume  
Renard Charles

26/01/13



Projet de Mathématiques appliquées  
PR3003

-

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Déterminer l'équation différentielle vérifiée par <math>M(t)=(x(t),y(t))</math>.</b>	<b>4</b>
1.1	Projection du Poids sur la composante tangentielle . . . . .	5
1.2	Projection de la tension du ressort su la composante tangentielle . . . . .	5
1.2.1	Methode de Guillaume, diff d'angle . . . . .	6
1.2.2	Methode de Charles, Al-Kashi . . . . .	7
1.3	Determination de $\ T\ $ . . . . .	7
1.4	Détermination de $a_t$ . . . . .	7
1.5	Détermination de l'équation différentielle . . . . .	8
1.5.1	Equa diff de Guillaume . . . . .	8
1.5.2	Equa diff de Charles . . . . .	8

# 1 Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $M(t)=(x(t),y(t))$ .



La masselotte M se déplace uniquement selon la composante tangentielle. Pour déterminer l'équation différentielle on va donc particulièrement s'intéresser à l'équation sur la composante tangentielle. Pour cela, on commence à faire la somme des forces s'exerçant sur la composante tangentielle  $\vec{u}_t$  et normale  $\vec{u}_n$  selon la seconde loi de Newton (PFD) :

$$\begin{cases} P_t + T_t = ma_t \\ P_n + R_n + T_n = 0 \end{cases}$$

On s'intéresse à l'équation :

$$P_t + T_t = ma_t$$

Pour déterminer l'équation différentielle, on doit alors projeter  $\vec{T}$  et  $\vec{m}g$  sur  $\vec{u}_t$ .

On projette  $\vec{m}g = -mg.\vec{u}_y$  sur  $\vec{u}_t$

## 1.1 Projection du Poids sur la composante tangentielle



On remarque sur le graphique que  $P_t = P \cdot \cos(\alpha)$

On cherche à déterminer  $\alpha$ . On calcule la pente  $a$  de la tige parabolique.  $a = \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial x^2/2}{\partial x} = x$

En  $M(x_0, y_0)$  la pente  $a$  de la tige parabolique vaut donc  $x_0$ . Cette pente  $a$  nous permet de calculer l'angle  $\alpha$ .

En effet, on remarque graphiquement que  $\tan(\alpha) = \frac{1}{a}$ . On en déduit :  $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1}{x_0}\right)$

Au final on trouve donc :  $P_t = P \cdot \cos(\tan^{-1}\left(\frac{1}{x_0}\right))$

Or  $\cos(\tan^{-1}(x)) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$  On en déduit donc :  $P_t = P \cdot \frac{1}{\sqrt{1+1/x_0^2}}$  D'où :

$$P_t = P \cdot \frac{x_0}{\sqrt{1+x_0^2}}$$

## 1.2 Projection de la tension du ressort sur la composante tangentielle

On projette désormais  $\vec{T}$  sur  $\vec{u}_t$ .

### 1.2.1 Methode de Guillaume, diff d'angle



$$\cos(\phi) = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$\cos(\theta) = \frac{x}{\sqrt{(1-y)^2+x^2}} = \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}}$$

$$\text{Et : } T_t = T \cdot \cos(\alpha_2) = T \cdot \cos(\phi - \theta) = T[\cos(\phi) \cdot \cos(\theta) + \sin(\phi) \cdot \sin(\theta)]$$

On en déduit :

$$T_t = T \left[ \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}} + \sin(\cos^{-1}(\frac{1}{\sqrt{1+x^2}})) \cdot \sin(\cos^{-1}(\frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}})) \right]$$

$$\text{Or : } \sin(\cos^{-1}(u)) = \sqrt{1-u^2}$$

On trouve donc :

$$T_t = T \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}} + \sqrt{1 - \frac{1}{1+x^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{1+x^4/4}} \right]$$

### 1.2.2 Methode de Charles, Al-Kashi



On note  $x, y$  les coordonnées du point M.

$$a = \sqrt{(x_M - x_P)^2 + (y_M - y_P)^2} = \sqrt{x^2 + \left(\frac{x^2}{2} - 1\right)^2} = \sqrt{x^2 + \frac{x^4}{4} - x^2 + 1} = \sqrt{\frac{x^4}{4} + 1}$$

$$b = \sqrt{(x_M - x_P)^2 + (y_M - \Delta(0))^2} = \sqrt{x^2 + \left(\frac{x^2}{2} + \frac{x^2}{2}\right)^2} = \sqrt{x^2 + x^4} = x\sqrt{1 + x^2}$$

note : faut-il mettre plutôt  $|x|\sqrt{1 + x^2}$  ?

$$c = \sqrt{(y_P - \Delta(0))^2} = \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{2}\right)^2} = 1 + \frac{x^2}{2}$$

D'après le théorème d'Al-Kashi :  $x_1 = \frac{5 + \sqrt{25 - 4 \times 6}}{2} = 3$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos(\beta)$$

$$\cos(\beta) = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} = \frac{x^4/4 + 1 + x^2 + x^4 - 1 - x^2 - x^4/4}{2x\sqrt{x^4/4 + 1}\sqrt{1 + x^2}} = \frac{x^3}{2\sqrt{x^4/4 + 1}\sqrt{1 + x^2}}$$

On trouve donc :

$$T_t = T \times \frac{x^3}{2\sqrt{x^4/4 + 1}\sqrt{1 + x^2}}$$

### 1.3 Détermination de $\|T\|$

On détermine la valeur de la tension du ressort.

$$T = k(l - l_0) = k(\sqrt{(x_M - x_P)^2 + (y_M - y_P)^2} - l_0) = k(\sqrt{x^2 + (x^2/2 - 1)^2} - l_0)$$

$$T = k(\sqrt{x^2 + x^4/4 - x^2 + 1} - l_0)$$

$$T = k(\sqrt{1 + \frac{x^4}{4}} - l_0)$$

### 1.4 Détermination de $a_t$

On a vu dans la première équation que  $a_n = 0$ . On en déduit :  $\|\vec{a}\| = a_t$

Avec une accélération normale nulle, on peut écrire la formule de l'accélération dans le repère de Frenet ainsi :

$$a_t = \|\vec{a}\|$$

$$\begin{aligned}
\text{Or } ||\vec{a}|| &= \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial \pm \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{\partial t} \\
\dot{y} &= \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial y}{\partial x} \times \frac{\partial x}{\partial t} = x\dot{x} \\
v &= \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{x}^2 x^2} = \dot{x}\sqrt{1+x^2} \\
\frac{\partial v}{\partial t} &= \ddot{x}\sqrt{1+x^2} + \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}} \\
\text{On trouve :}
\end{aligned}$$

$$a_t = \ddot{x} \cdot \sqrt{1+x^2} + \frac{\dot{x}^2 \cdot x}{\sqrt{1+x^2}}$$

(Equation de Charles)

## 1.5 Détermination de l'équation différentielle

A l'aide de ce qu'on a calculé précédemment on développe l'équation  $mg_t + T_t = ma_t$  pour déterminer l'équation différentielle. On obtient alors :

### 1.5.1 Equa diff de Guillaume

En développant et en prenant  $k=m$ ,  $g=1$  et  $a=l_0$  (données de l'énoncé), on obtient :

$$\begin{aligned}
m \cdot 1 \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} + m(\sqrt{x^4/4+1} - a) \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}} + \sqrt{1 - \frac{1}{1+x^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{1+x^4/4}} \right] - m \cdot \ddot{x} \cdot \sqrt{1+x^2} - m \cdot \frac{\dot{x}^2 \cdot x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} + (\sqrt{x^4/4+1} - a) \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}} + \sqrt{1 - \frac{1}{1+x^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{1+x^4/4}} \right] - \ddot{x} \cdot \sqrt{1+x^2} - \frac{\dot{x}^2 \cdot x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} + (\sqrt{x^4/4+1} - a) \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}} + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \sqrt{\frac{x^4/4-x^2+1}{1+x^4/4}} \right] - \ddot{x} \cdot \sqrt{1+x^2} - \frac{\dot{x}^2 \cdot x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} + \left[ \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} + \frac{x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}}{\sqrt{1+x^2}} \right] - a \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1+x^4/4}} + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \cdot \sqrt{\frac{x^4/4-x^2+1}{1+x^4/4}} \right] - \ddot{x} \cdot \sqrt{1+x^2} - \frac{\dot{x}^2 \cdot x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
\frac{x}{1+x^2} + \left[ \frac{x}{1+x^2} + \frac{x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}}{1+x^2} \right] - a \cdot \left[ \frac{x}{(1+x^2) \cdot \sqrt{1+x^4/4}} + \frac{x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}}{(1+x^2) \cdot \sqrt{1+x^4/4}} \right] - \ddot{x} - \frac{\dot{x}^2 \cdot x}{1+x^2} &= 0 \\
\frac{2x+x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}-\dot{x}^2 \cdot x}{1+x^2} - a \cdot \frac{x+x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}}{(1+x^2) \cdot \sqrt{1+x^4/4}} - \ddot{x} &= 0 \\
- \frac{2x+x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}-\dot{x}^2 \cdot x}{1+x^2} + a \cdot \frac{x+x \cdot \sqrt{x^4/4-x^2+1}}{(1+x^2) \cdot \sqrt{1+x^4/4}} + \ddot{x} &= 0 \\
- \frac{2x+x \cdot \sqrt{(x^2/2-1)^2-\dot{x}^2 \cdot x}}{1+x^2} + a \cdot \frac{x+x \cdot \sqrt{(x^2/2-1)^2}}{(1+x^2) \cdot \sqrt{1+x^4/4}} + \ddot{x} &= 0
\end{aligned}$$

$$\frac{-x^3/2-x+\dot{x}^2 x}{1+x^2} + \frac{a \cdot x^3}{2(1+x^2) \cdot \sqrt{1+x^4/4}} + \ddot{x} = 0$$

### 1.5.2 Equa diff de Charles

On calcule maintenant l'équation différentielle du système en s'aidant des résultats précédents.

On part de l'équation  $P_t + T_t = ma_t$

avec  $T_t = k(l - l_0)$  et  $P_t = -mg$

En développant les expressions on obtient :

$$\begin{aligned}
k(\sqrt{x^4/4+1} - l_0) \times \frac{x^3}{2\sqrt{x^4/4+1}\sqrt{1+x^2}} - mg \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} &= m(\ddot{x}\sqrt{1+x^2} + \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}}) \\
\frac{k}{m} \left( \frac{x^3}{2\sqrt{1+x^2}} - \frac{x^3 \times l_0}{2\sqrt{x^4/4+1}\sqrt{1+x^2}} \right) - \frac{xg}{\sqrt{1+x^2}} - \ddot{x}\sqrt{1+x^2} - \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
\text{En prenant } k=m, g=1 \text{ et } a=l_0 \text{ (données de l'énoncé), on obtient :} \\
- \frac{x^3}{2\sqrt{1+x^2}} + \frac{x^3 \times a}{2\sqrt{x^4/4+1}\sqrt{1+x^2}} + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} + \ddot{x}\sqrt{1+x^2} + \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
(-\frac{x^3}{2} + x) \frac{1}{2\sqrt{1+x^2}} + \frac{x^3 \times a}{2\sqrt{x^4/4+1}\sqrt{1+x^2}} + \ddot{x}\sqrt{1+x^2} + \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
(-\frac{x^3}{2} + x) \frac{1}{2\sqrt{1+x^2}} + \frac{x^3 \times a}{2\sqrt{x^4/4+1}\sqrt{1+x^2}} + \ddot{x}\sqrt{1+x^2} + \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0 \\
(-\frac{x^3}{2} + x) \frac{1}{1+x^2} + \frac{x^3 \times a}{2\sqrt{x^4/4+1}(1+x^2)} + \ddot{x} + \frac{\dot{x}^2 x}{\sqrt{1+x^2}} &= 0
\end{aligned}$$

$$\ddot{x} + \frac{\dot{x}^2 x - x^3/2 - x}{1+x^2} + \frac{x^3 \times a}{2\sqrt{x^4/4+1}(1+x^2)} = 0$$