

Travaux d'initiatives personnelles encadrés

**Les cordes d'escalade :  
étude, modélisation et adaptation**

Dans quelle mesure l'étude d'une corde permet-elle  
de prévoir son comportement lors d'une chute ?

# Plan

## I - Étude de la corde

Caractéristiques et description

Module d'Young et lien avec la constante de raideur

Allongements statiques et dynamiques

## II - Étude de la chute

Étude énergétique

Dissipation de l'énergie

## III - Modélisation de la chute

Modèle de frottements solides

Modèle viscoélastique

## IV - Annexes

## Caractéristiques et description

Les caractéristiques principales d'une corde sont :

Pour notre corde : (Simond)

Son diamètre (m), ou sa section (m<sup>2</sup>)

Diamètre : 10,2 mm

Sa force de choc (kN)

Force de choc : 9 kN

Son module d'Young  $\Omega$  (Pa)

à déterminer

Sa masse linéique (g.m<sup>-1</sup>)

Masse linéique : 65 g.m<sup>-1</sup>

Sa longueur à vide (m)

variable

Ses allongements dynamique et statique (%)

30,8% et 9% (constructeur)

## Caractéristiques et description



[hardloop.fr](http://hardloop.fr)

Gaine

Ame

## Module d'Young et lien avec la constante de raideur

D'après la loi de Hooke :

$$\frac{F}{S} = \Omega \frac{\delta l}{l_0}$$

F : Force s'appliquant sur la corde

S : Section de la corde

$l_0$  : Longueur à vide de la corde

$\delta l$  : élongation de la corde

$\Omega$  : Module d'Young

## Module d'Young et lien avec la constante de raideur

Lien avec la constante de raideur

Loi des ressorts de Hooke :

$$F = k \cdot \delta l$$

Indépendance vis à vis de la section :

$$\frac{F}{S} = \frac{k}{S} \delta l$$

On fait apparaître l'élongation :

$$\frac{F}{S} = \frac{k \cdot l_0}{S} \frac{\delta l}{l_0}$$

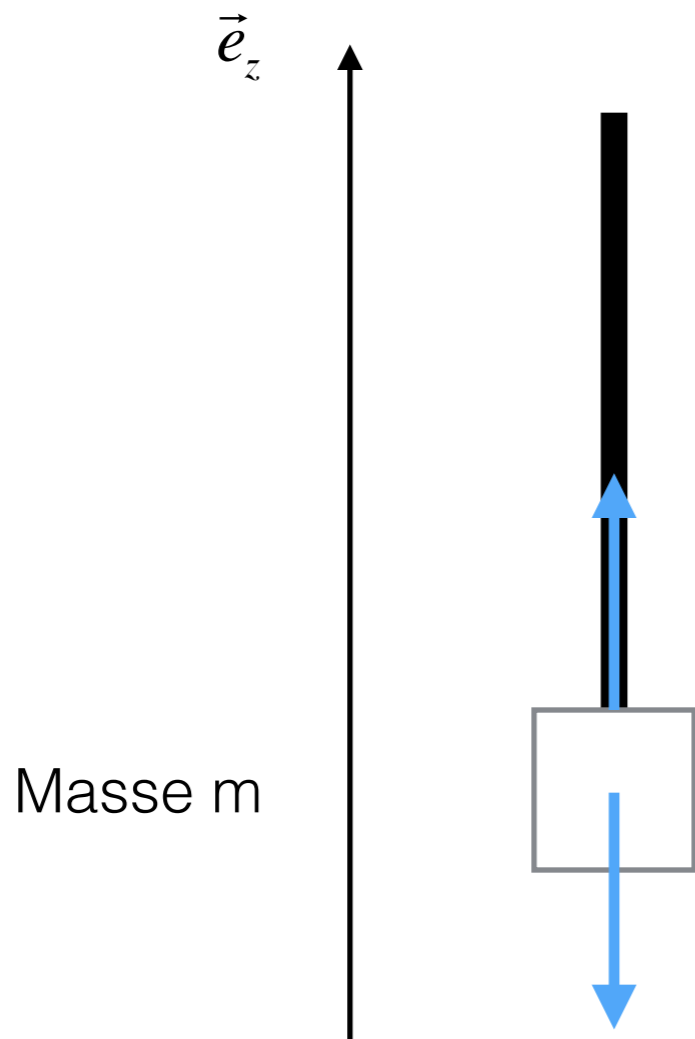
Avec la relation précédente on a donc :

$$k = \Omega \frac{S}{l_0}$$

## Module d'Young et lien avec la constante de raideur

Détermination expérimentale du module d'Young

Objectif : Tracer la courbe



$$\frac{F}{S} = \Omega \frac{\delta l}{l_0}$$

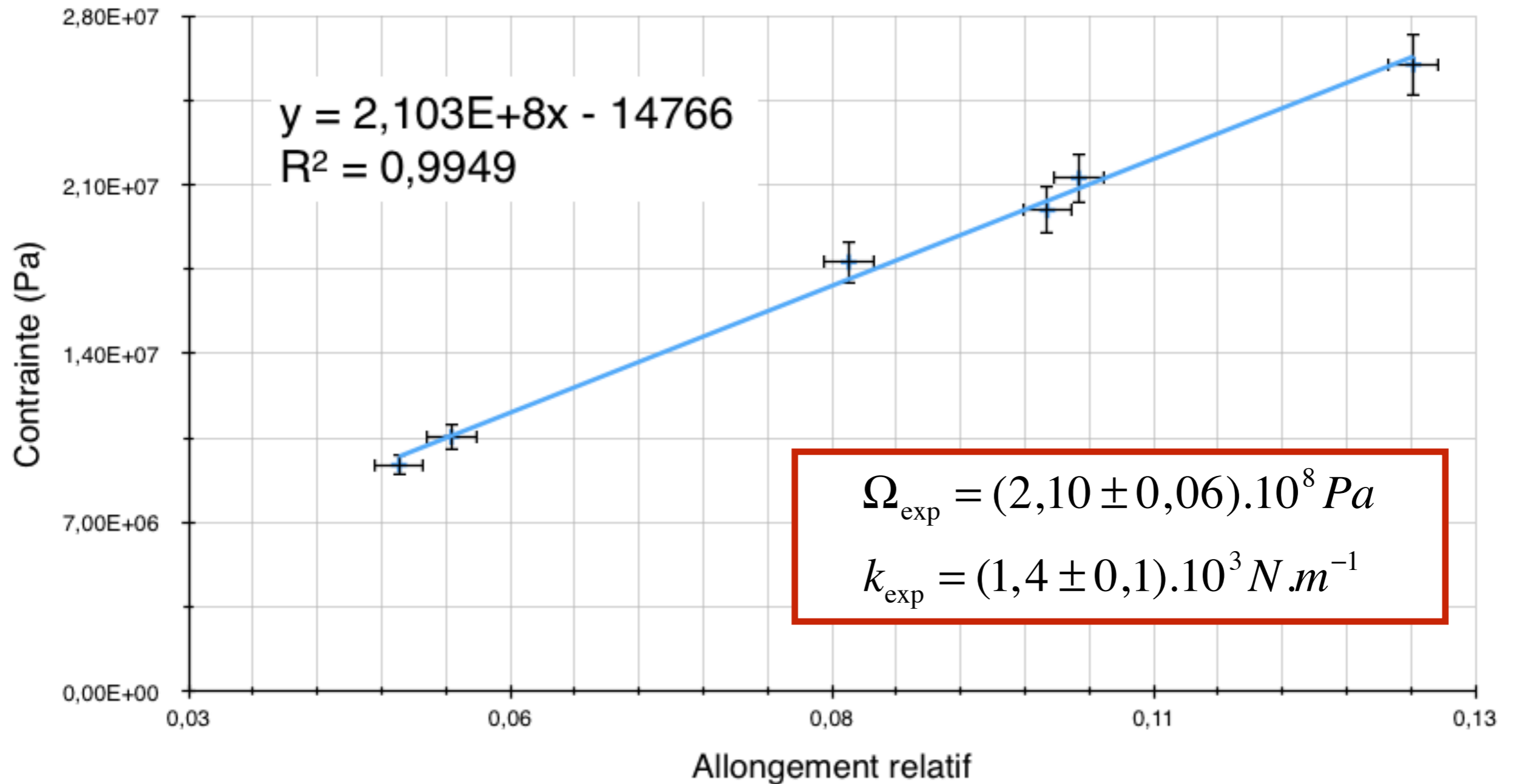
$$\vec{F} = \frac{\Omega S \delta l}{l_0} \vec{e}_z$$

$$\vec{P} = -mg \vec{e}_z$$



## Module d'Young et lien avec la constante de raideur

Détermination expérimentale du module d'Young  
Résultats de la manipulation





## Module d'Young et lien avec la constante de raideur

Vérification théorique de la valeur du module d'Young

Expression de la force de choc :  $F_{choc} = mg \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2RS\Omega}{mg}} \right)$

On isole le module d'Young :

$$\Omega = \frac{mg}{2RS} \left[ \left( \frac{F_{choc}}{mg} - 1 \right)^2 - 1 \right]$$

Avec :  $R = 1,77$  le facteur de chute

$m = 80$  kg

$F_{choc} = 9$  kN (constructeur)

Numériquement :

$$\Omega_{the} = 2,9 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

## Module d'Young et lien avec la constante de raideur

Écart à la valeur théorique du module d'Young

On a :

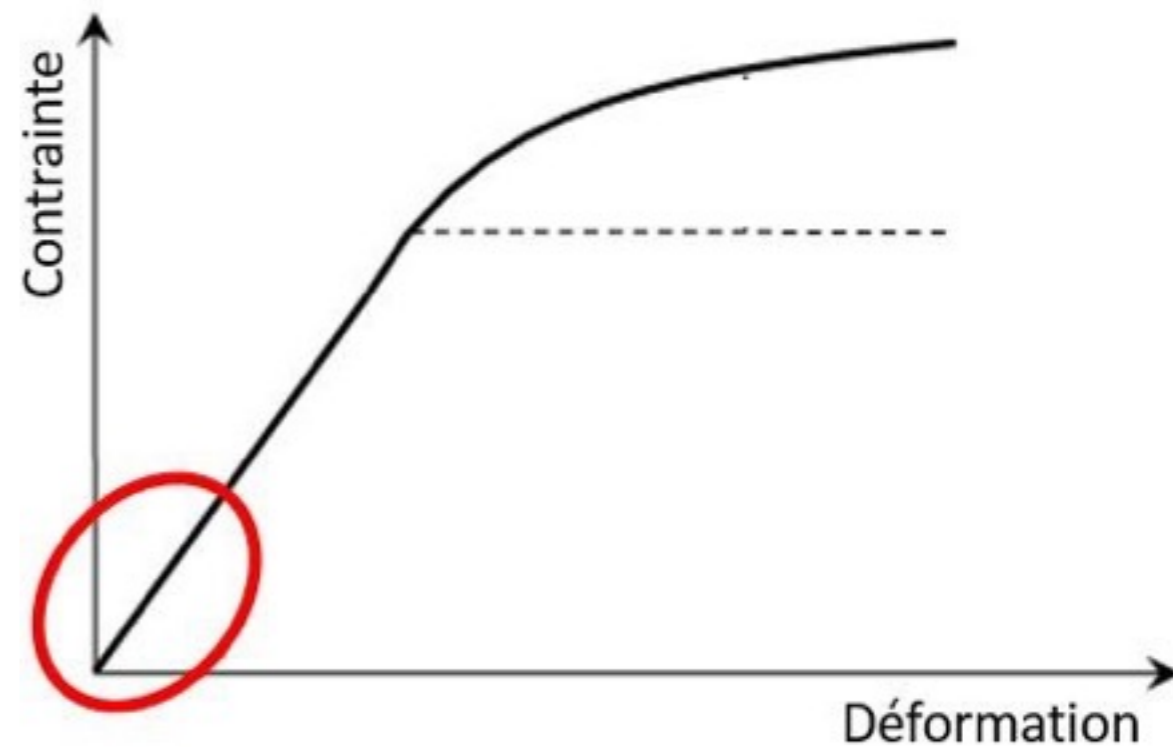
Expérimentalement :  $\Omega_{\text{exp}} = 2,1 \cdot 10^8 \text{ Pa}$

Théoriquement :  $\Omega_{\text{the}} = 2,9 \cdot 10^8 \text{ Pa}$

Donc :

$$\Delta\Omega = \left| \frac{\Omega_{\text{exp}} - \Omega_{\text{the}}}{\Omega_{\text{the}}} \right| = 0,29$$

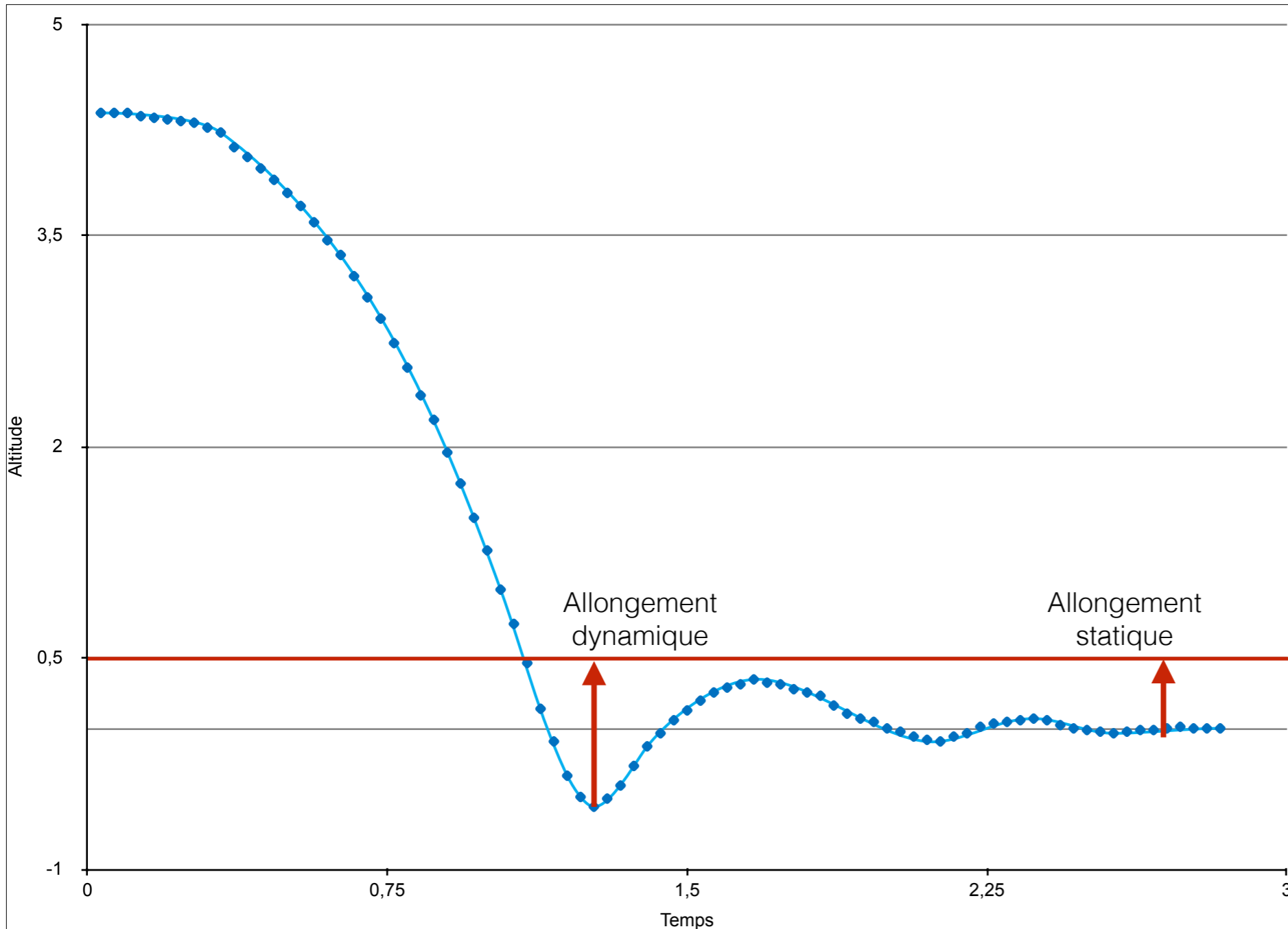
**écart : 29%**



# I - Etude de la corde

## Allongements statiques et dynamiques

Valeur constructeur :  $\frac{\delta l}{l_0} = 0,308$   
 $m = 80 \text{ kg}$     $l_0 = 2,3 \text{ m}$



## II - Etude de la chute

### Étude énergétique

$$\text{Allongement : } \delta l = \frac{F l_0}{\Omega S} \qquad \text{Constante de raideur : } k = \frac{S\Omega}{l_0}$$

Bilan énergétique :

$$\text{Avant la chute : } E_{m1} = m.g.z_0 = m.g.(l_0 + \delta l) = mgl_0 \left( 1 + \frac{F}{S\Omega} \right)$$

$$\text{Après la chute : } E_{m2} = \frac{1}{2} k (\delta l)^2 = \frac{1}{2} \frac{F^2 l_0}{S\Omega}$$

Energie dissipée :

$$\Delta E_m = \left| \frac{1}{2} \frac{F^2 l_0}{S\Omega} - mgl_0 \left( 1 + \frac{F}{S\Omega} \right) \right|$$

Pour une chute de 4m d'un grimpeur de 80kg :

$$\Delta E_m = 3068 J$$

### Dissipation d'énergie

#### Modèles envisagés

- 1 - Une dissipation thermique par rayonnement
- 2- Une dissipation par frottements solides
- 3 - Une dissipation dans un modèle viscoélastique

### Dissipation d'énergie

#### Dissipation thermique par rayonnement

Bilan thermodynamique :

$$\text{Premier principe : } \Delta U = \Delta E_{micro} + \Delta E_{macro} = \Delta E_m$$

$$\begin{aligned} \text{Evolution isobare : } \Delta U &= \Delta H = C_p \Delta T \\ &= M_l l C \Delta T \end{aligned}$$

$M_l$  la masse linéique  
 $l$  la longueur de corde  
 $C$  la capacité thermique

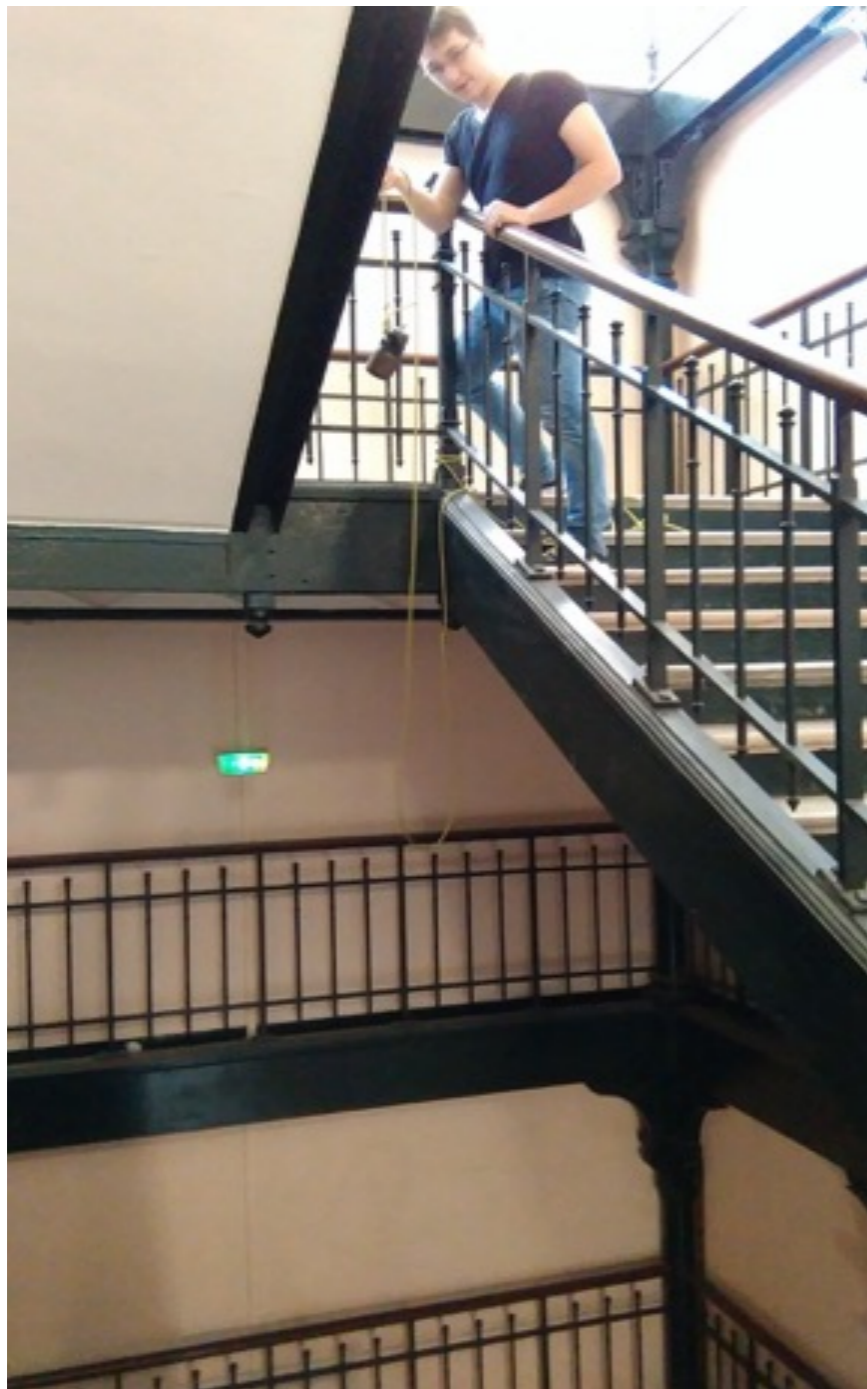
$$\text{Et : } \Delta T = \frac{\Delta E_m}{M_l l C}$$

Pour une chute de 4m d'un grimpeur de 80kg :

$$\Delta T = 6,9^\circ\text{C}$$

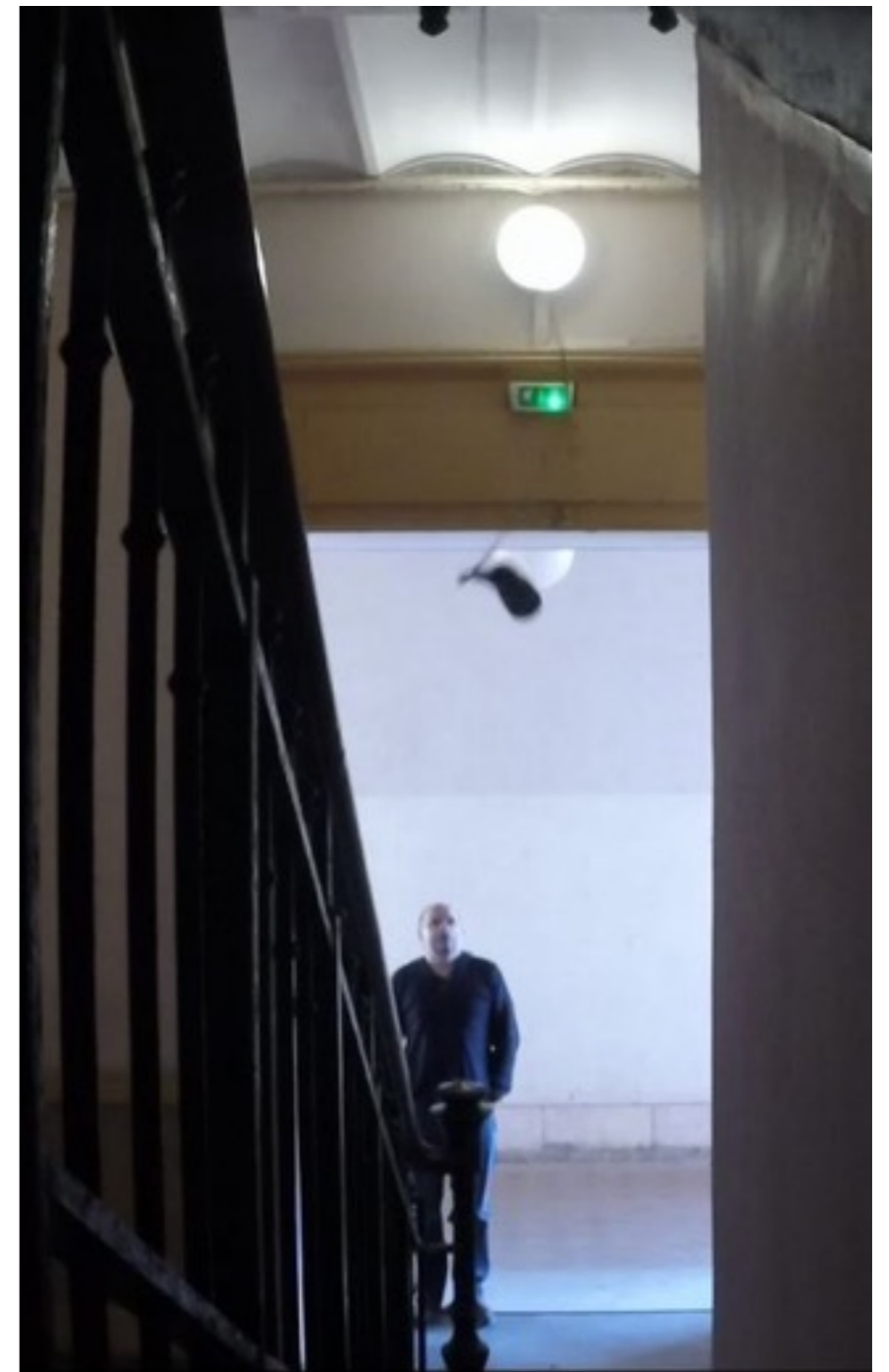
### Dissipation d'énergie

Dissipation thermique par rayonnement



Vérification

Lâché de masse  
et observation de  
la corde avec une  
caméra thermique



### Dissipation d'énergie

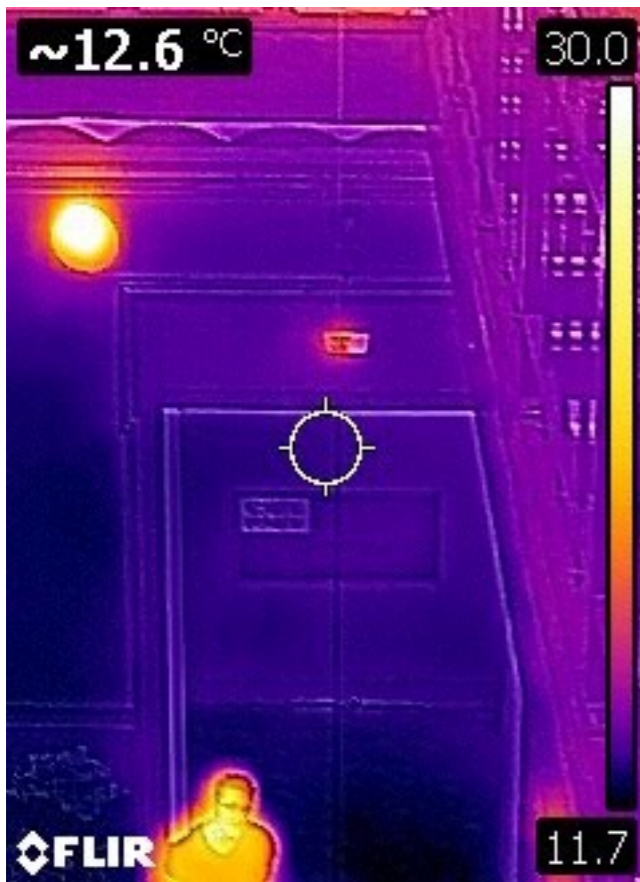
Dissipation thermique par rayonnement

Vérification

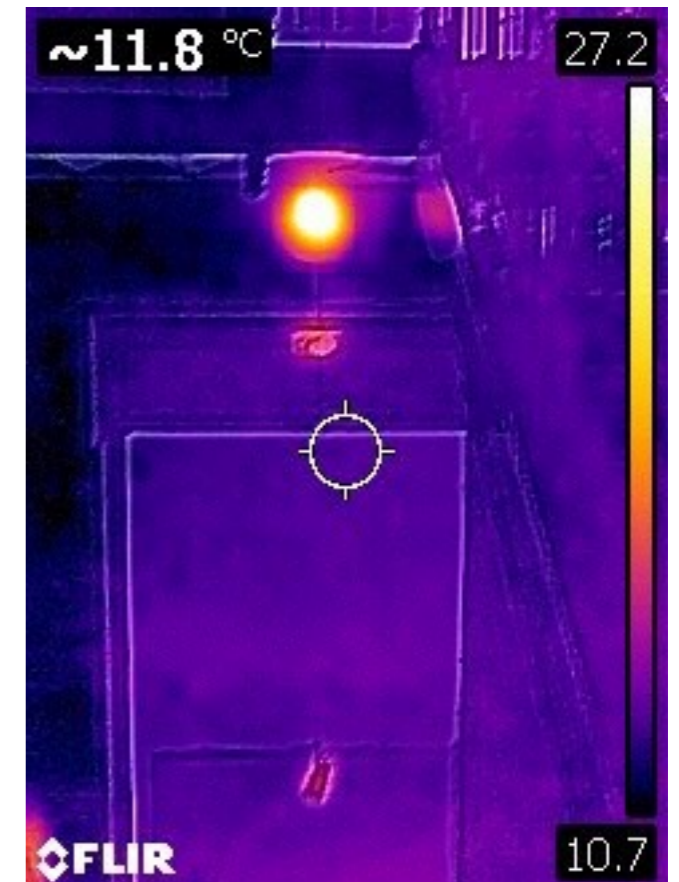
Evolution non notable  
du rayonnement thermique  
de la corde

Hypothèses :

- 1 - Moins d'énergie à dissiper
- 2 - Surface d'échange très importante
- 3 - Rayonnement étalé dans le temps



Haut



Bas



### III - Modélisation de la chute

## Modèle de frottements solide

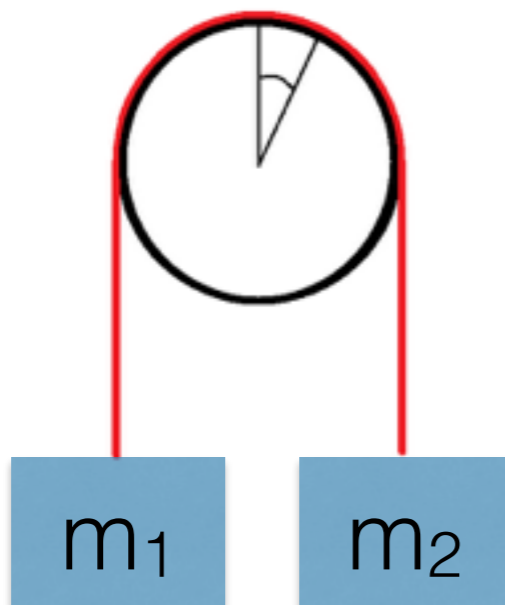
### Dissipation par frottements solides

Le coefficient est donné par  $f = \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$

Détermination expérimentale du coefficient de frottement interne :

Protocole :

- Pendre deux masses identiques aux deux extrémités d'un brin de corde.
- Ajouter des masses d'un coté jusqu'au glissement.
- Relever la masse ajoutée et appliquer la formule précédente



# III - Modélisation de la chute

## Modèle de frottements solide

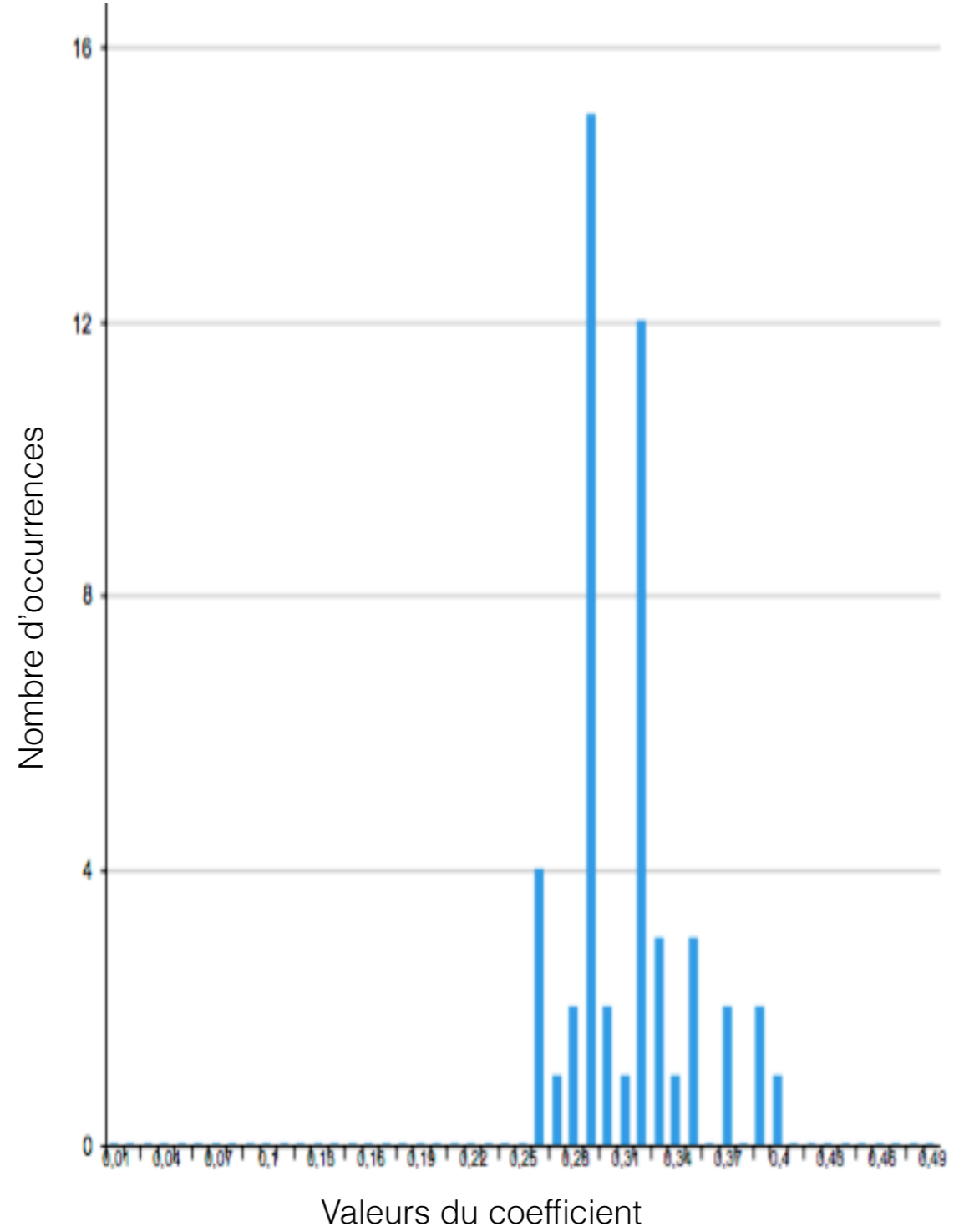
### Dissipation par frottements solides

Coefficient de frottement moyen : 0,31

Ecart-type : 0,03

Intervalle de confiance à 97,5% : [0,30 ; 0,32]

D'après la société Heuchel :  
Coefficient de frottement : 0,41



### III - Modélisation de la chute

## Modèle de frottements solide

Expression de la force de frottement

$$V = cte \Rightarrow 2 \frac{dR}{R} = - \frac{dl}{l}$$

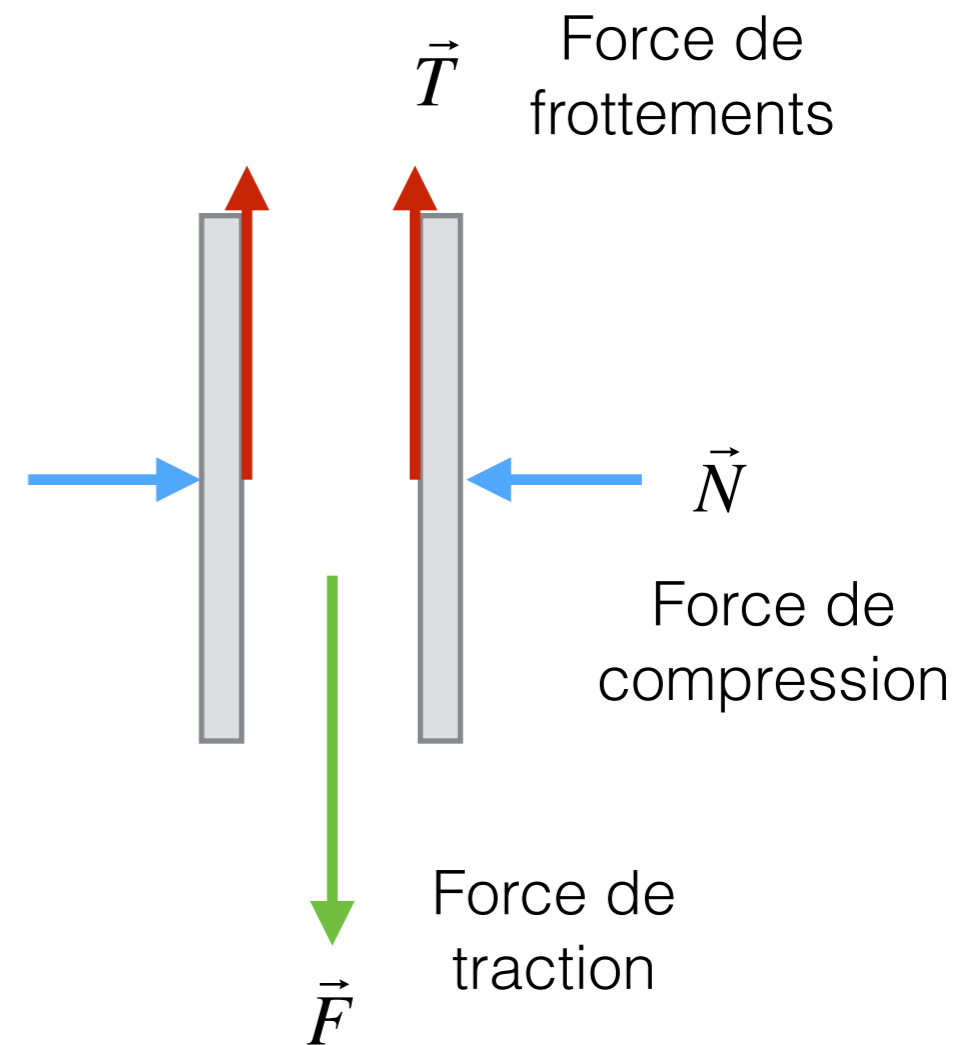
D'après la loi de Hooke :  $F = \frac{\Omega S \delta l}{l_0} = mg$

De manière analogue :  $N = \frac{\Omega S_{lat} \delta R}{R_0}$

En faisant  $N \times \frac{R_0}{R_0}$

En identifiant :  $N = \frac{l_0}{R_0} mg$

D'après la loi de Coulomb :  $T = f \frac{l_0}{R_0} mg$



# III - Modélisation de la chute

## Modèle de frottements solide

### Vérification informatique

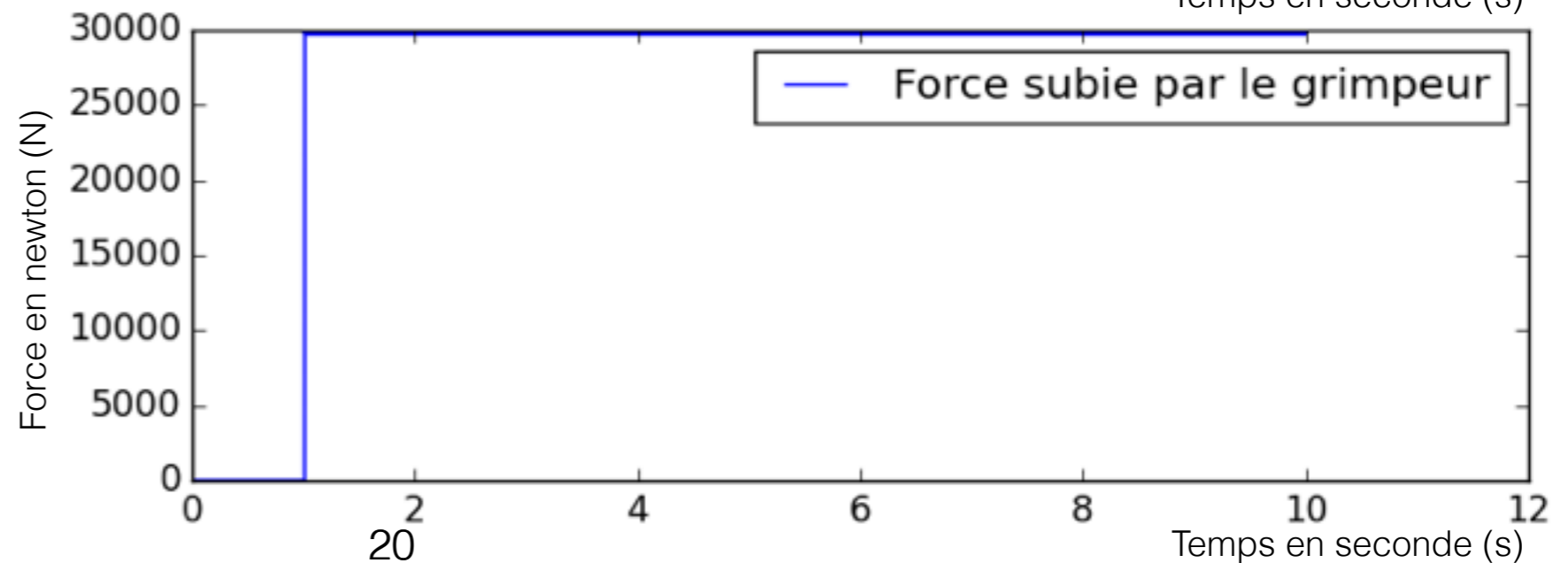
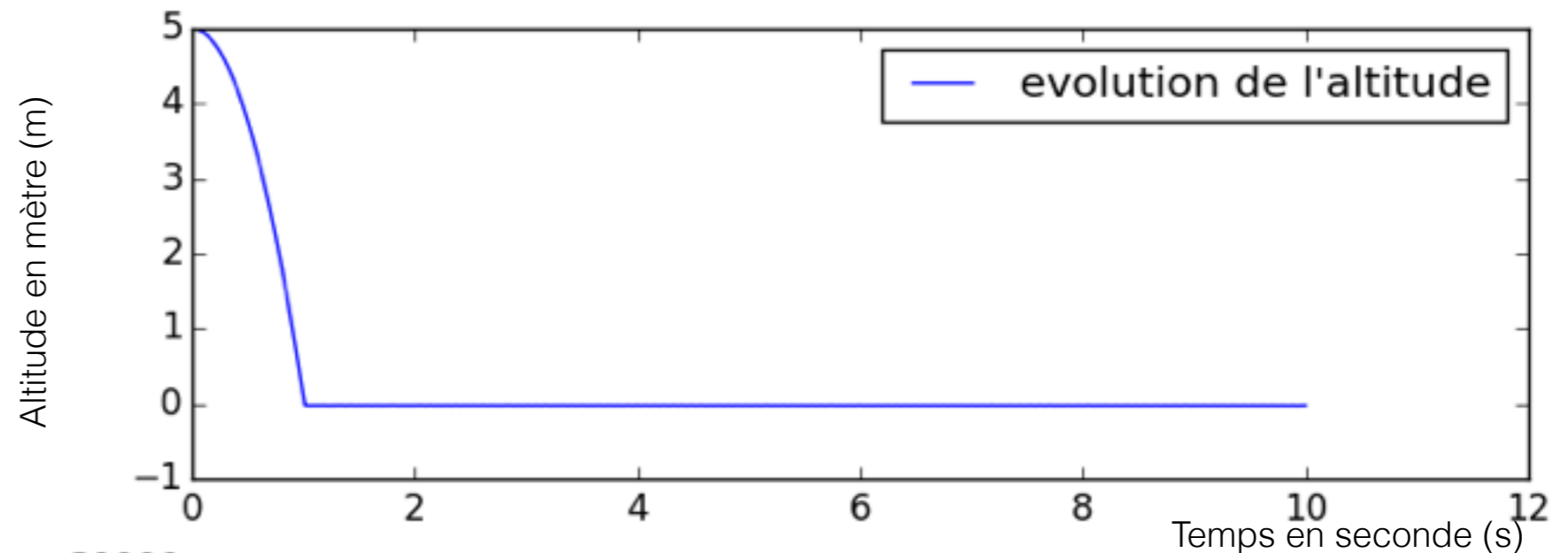
Comparaison avec les valeurs expérimentales

Avec les valeurs expérimentales on a :

$$k_{\text{exp}} = 3,4 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$
$$f_{\text{exp}} = 0,31$$

Ce qui donne :

et :  $F_{\text{max}} = 3,0 \cdot 10^4 \text{ N}$



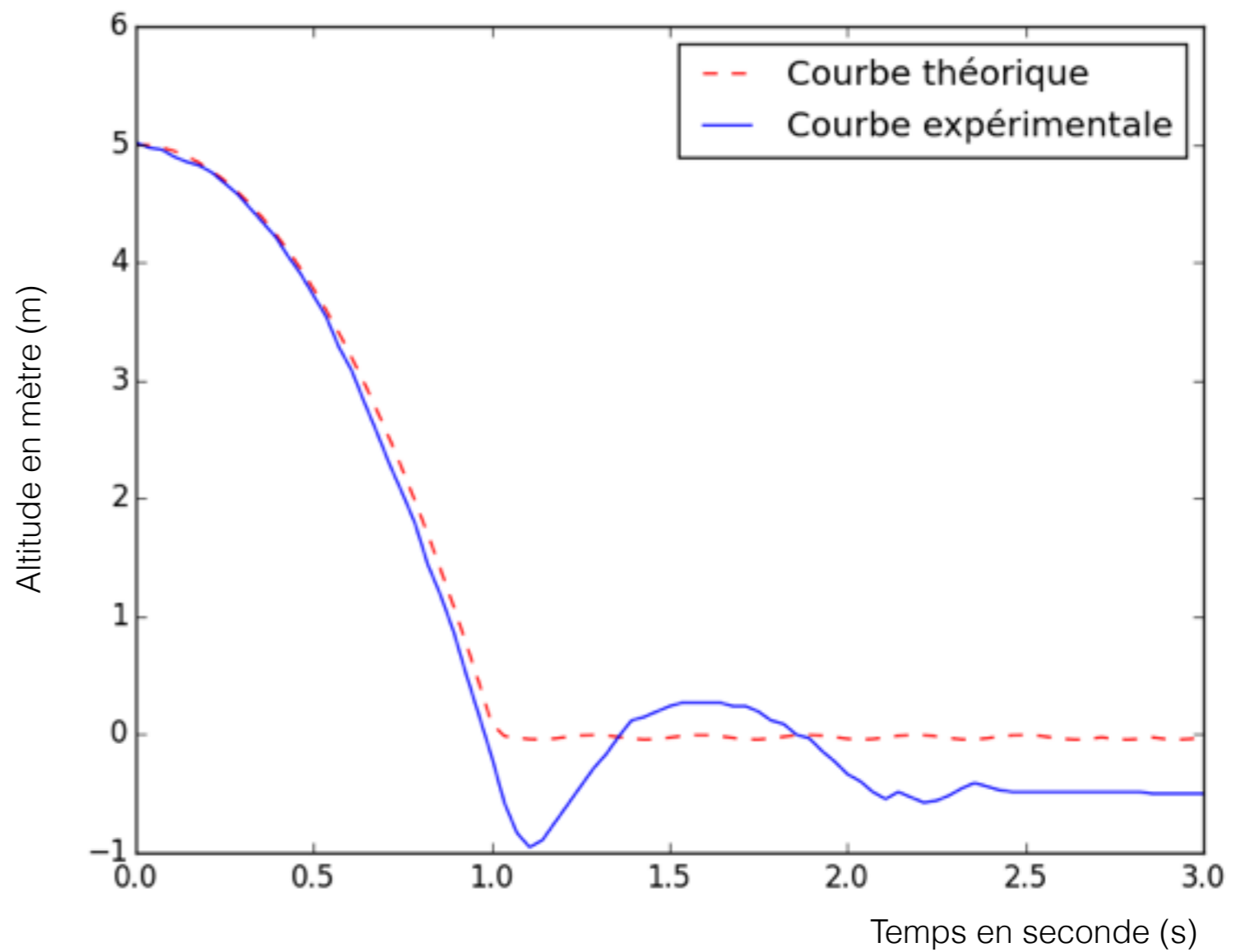
# III - Modélisation de la chute

## Modèle de frottements solide

### Vérification informatique

Comparaison avec les chutes expérimentales

On rapproche les courbes théoriques et expérimentales à l'aide de Python (scipy.optimize)



# III - Modélisation de la chute

## Modèle de frottements solide

### Vérification informatique

Comparaison avec les valeurs informatiques

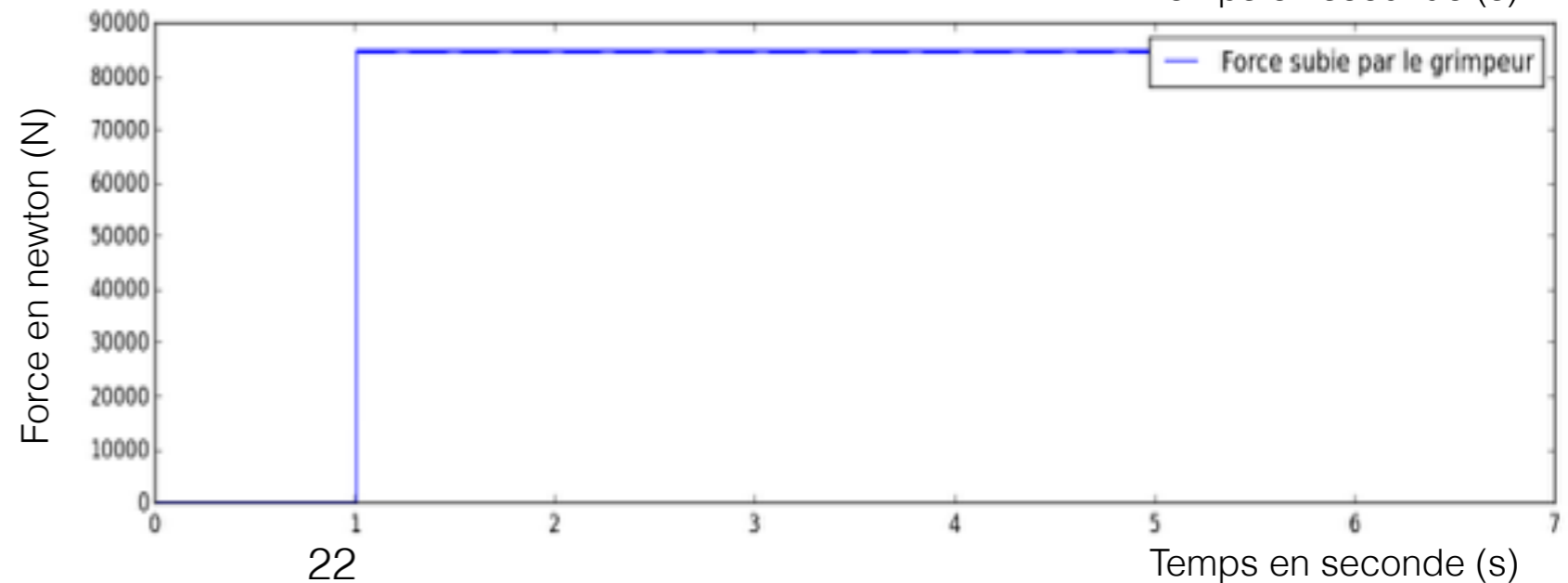
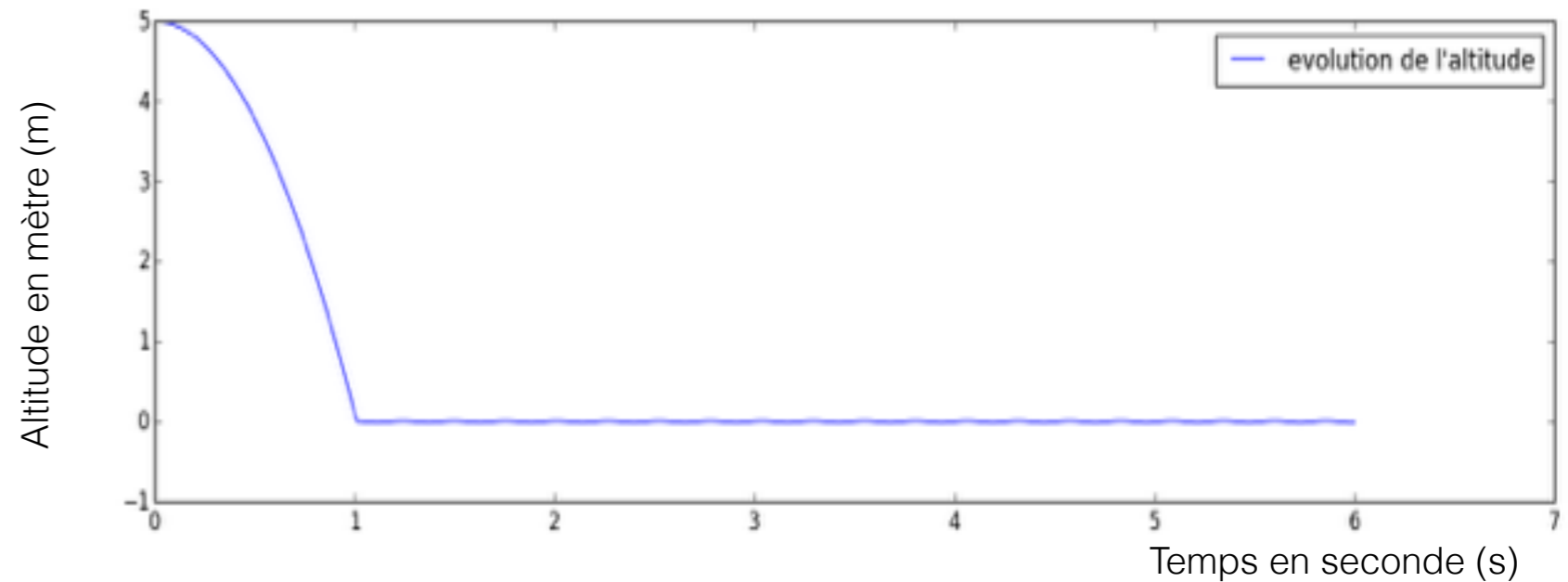
Par la méthode des moindres carrés on trouve :

$$k_{\text{moyen}} = 6,0 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$f_{\text{moyen}} = 0,88$$

Ce qui donne :

et :  $F_{\text{max}} = 8,5 \cdot 10^4 \text{ N}$



# III - Modélisation de la chute

## Modèle viscoélastique

Justification du modèle

La corde revient lentement  
à son état initial



Initialement

1 sec

2 sec

10 sec

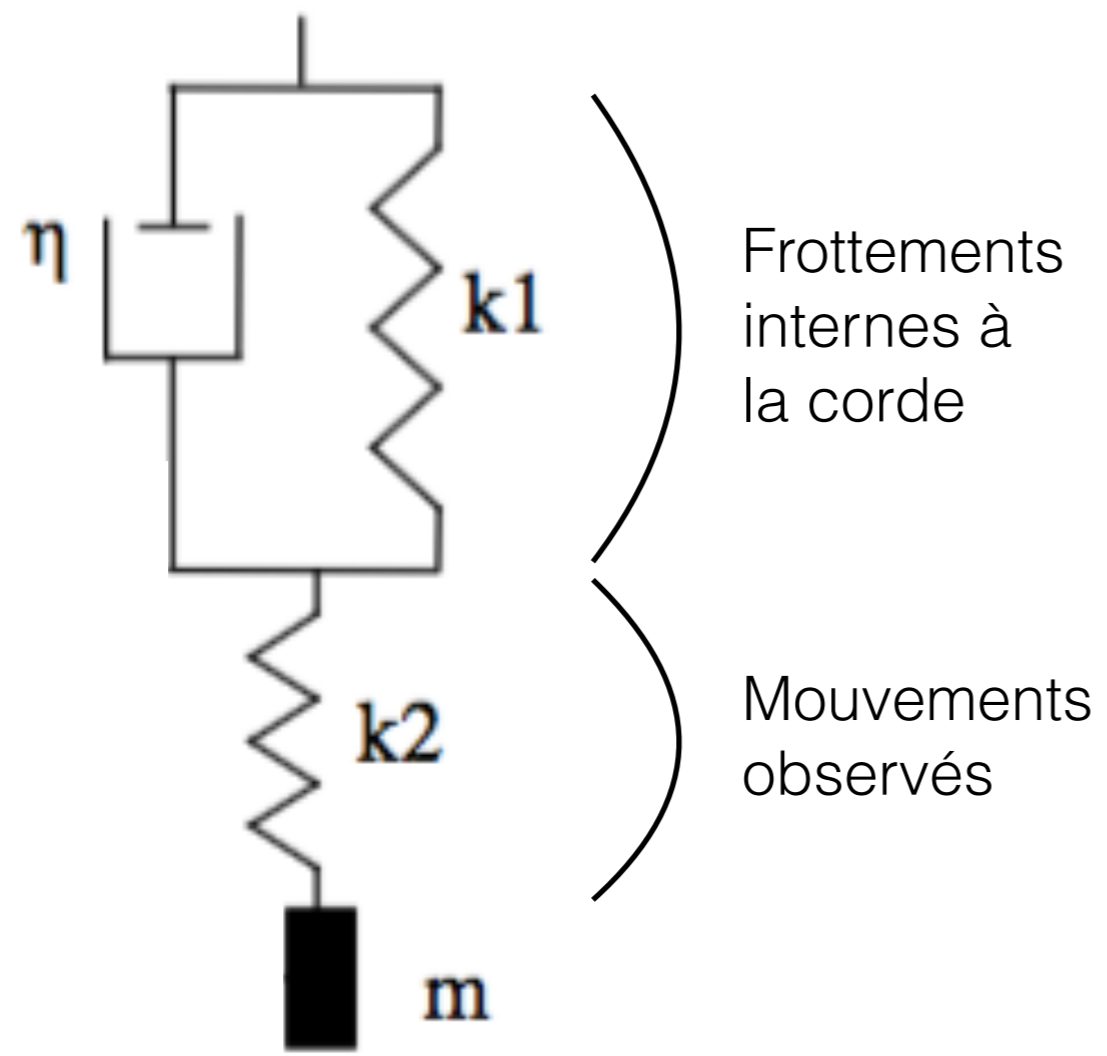
20 sec

30 sec

50 sec

Modèle viscoélastique

Modélisation de la corde



Equation du mouvement :

$$\tau \left( m \dddot{z}_2 + k_2 \dot{z}_2 \right) + \left( m \ddot{z}_2 + K z_2 \right) = mg$$

$$\tau = \frac{\eta}{k_1 + k_2}$$

$$K = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$



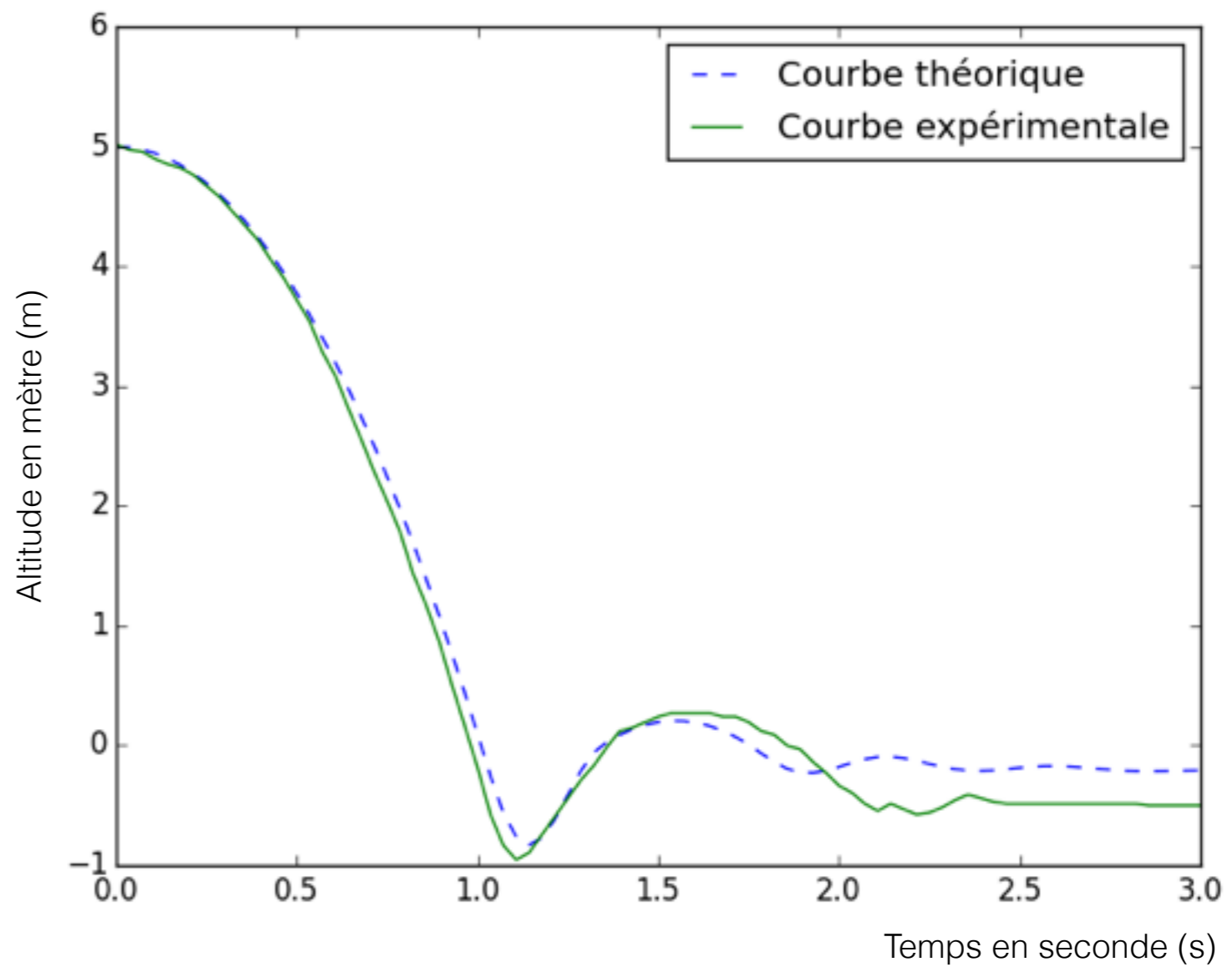
# III - Modélisation de la chute

## Modèle viscoélastique

### Vérification informatique

Comparaison avec les chutes expérimentales

On rapproche les courbes théoriques et expérimentales à l'aide de Python (scipy.optimize)



# III - Modélisation de la chute

## Modèle viscoélastique

### Vérification informatique

Comparaison avec les chutes expérimentales

Par la méthode des moindres carrés on trouve :

$$\eta_{moyen} = 89 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

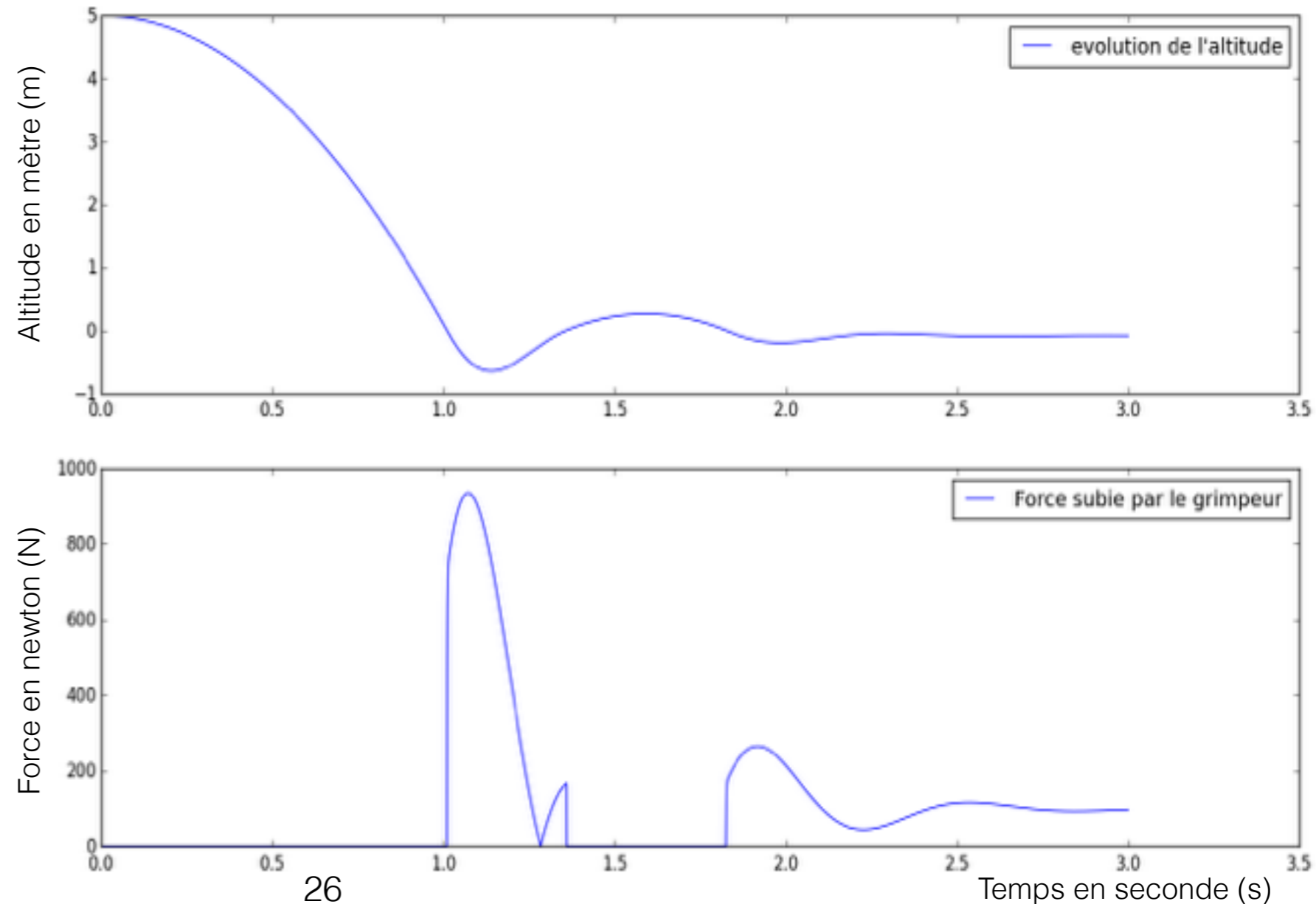
$$k_{1,moyen} = 1,4 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$k_{2,moyen} = 6,6 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Ce qui donne :

et :  $F_{\max} = 9,4 \cdot 10^2 \text{ N}$

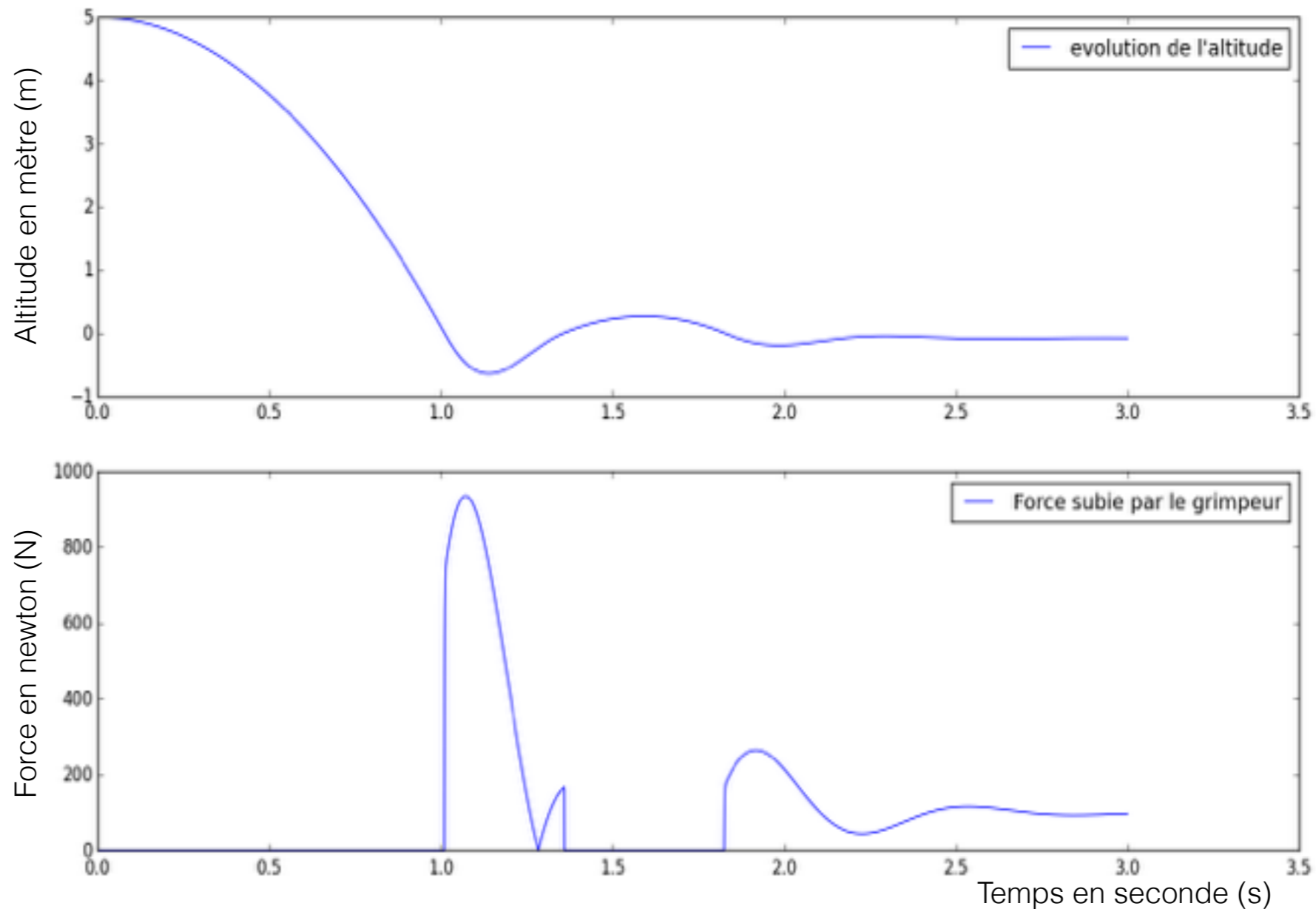
$$\tau_{moyen} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$



# Conclusion

Module d'Young :  $\Omega = 2,10 \cdot 10^8 Pa$       Constante de raideur :  $k = \Omega \frac{S}{l_0}$

Modèle prédictif : viscoélasticité



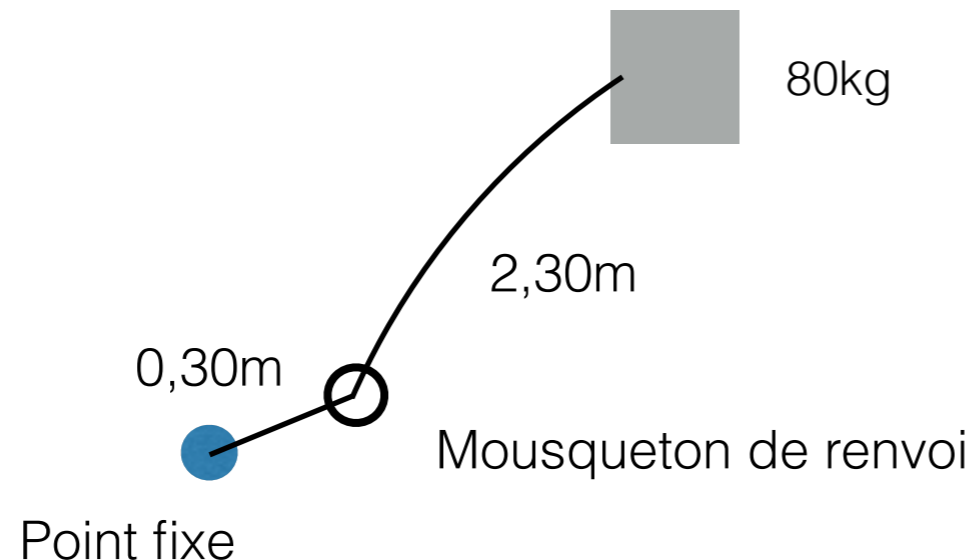
# Annexes

# Définitions

Force de choc : La force de choc d'une corde est l'effort transmis par la corde à une masse sur le test de norme. Elle n'est pas représentative des efforts réellement rencontrés sur une chute en escalade. Le test dynamique de la norme est un test extrême, car il simule sur une chute facteur 1,77 avec une masse métallique, la corde étant attachée sur un point fixe. (Petzl)

Facteur de chute : Rapport entre le double de la longueur de corde entre le grimpeur et le dernier point de renvoie et la longueur totale de corde et. Il est inférieur ou égal à 2. (Petzl)

Test normatif : Lâché dans les conditions suivantes :



$$R = \frac{2 \times 2,30}{2,30 + 0,30} = 1,77$$

## Expression de la force de choc

On note  $x$  l'allongement relatif  $\frac{\delta l}{L}$

D'après la loi de Hooke :  $F = S\Omega x$   
Pour passer de  $L$  à  $Lx$  il faut une énergie  $E = \frac{1}{2} \overbrace{\Omega S}^k \delta l^2 = \frac{1}{2} \Omega S L x^2$

$$\begin{cases} F = S\Omega x \\ E = \frac{1}{2} \Omega S L x^2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} x^2 = \left( \frac{F}{\Omega S} \right)^2 \\ E = \frac{1}{2} \frac{L F^2}{\Omega S} \end{cases}$$

L'énergie est fournie par l'énergie potentielle du grimpeur :  $E_P = mg \left( h + \frac{LF}{\Omega S} \right)$

On a donc égalité des deux énergies et l'équation suivante :

$$\underline{F^2 - 2mgF - 2mg\Omega SR = 0}$$

avec :  $\Delta = \frac{m^2 g^2 + 2mgR\Omega S}{(\Omega S)^2}$

Et finalement :

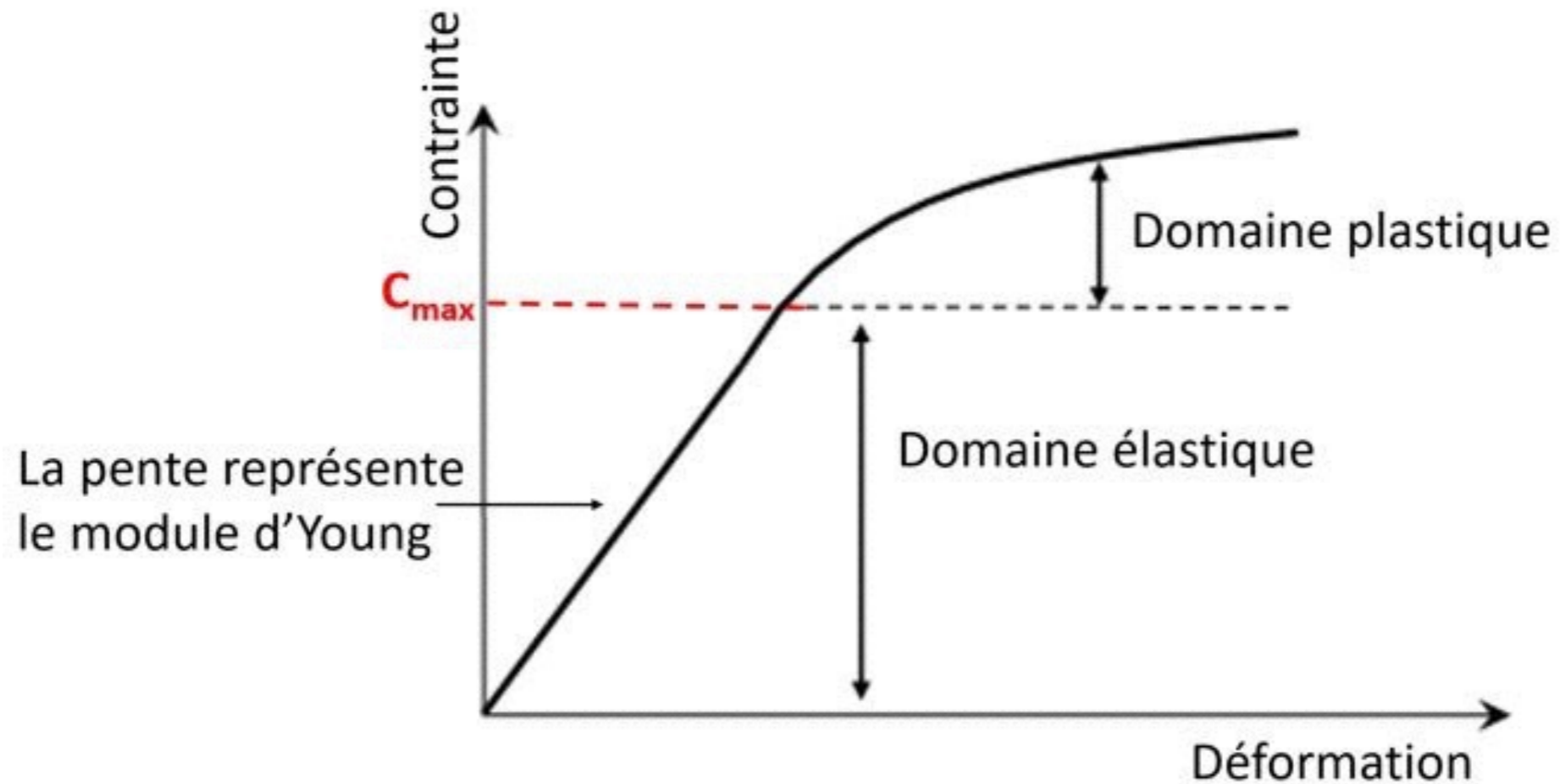
$$F = mg \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2R\Omega S}{mg}} \right)$$

On introduit le facteur de chute

$$R = \frac{h}{L}$$

# Module d'Young

Diagramme contrainte déformation



On peut donc maintenant essayer de déterminer expérimentalement cette grandeur

# Module d'Young et lien avec la constante de raideur

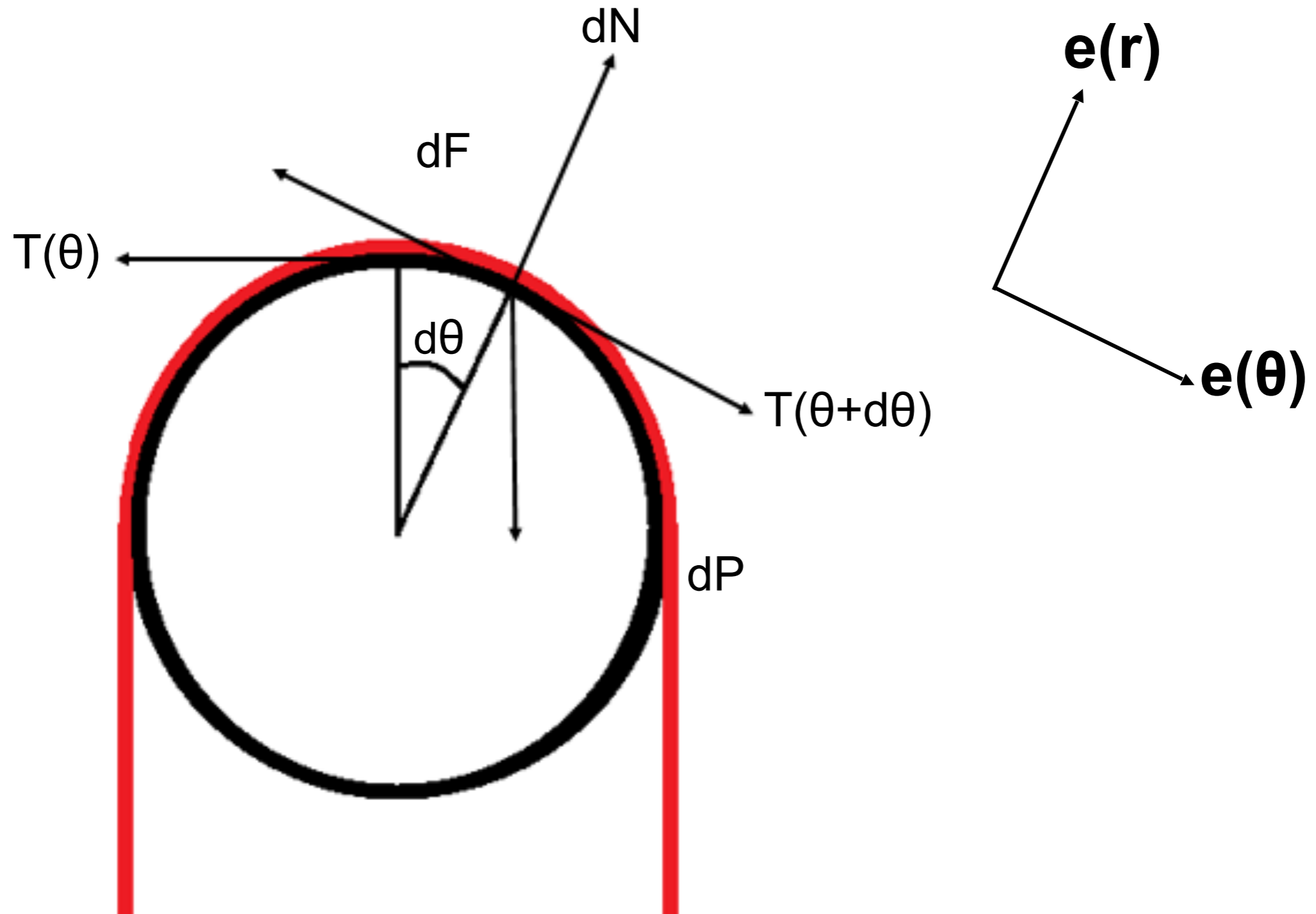
Détermination expérimentale du module d'Young  
 Résultats de la manipulation  
 Valeur numérique

Longueur de la corde (m)	12,30		Erreur sur la masse (kg)	0,5		Module d'Young (Pa)
Cte de gravitation (m.s <sup>-2</sup> )	9,81		Erreur sur les longueurs (m)	0,05		2,1E+08
Section de la corde (m <sup>2</sup> )	0,0000817		Erreur moyenne sur le module	0,06		
Masse suspendues (kg)	Poids (N)	Longueur (m)	allongement relatif	Elongation (m)	Contrainte (Pa)	Module d'Young (Pa)
78,2	7,67E+02	12,87	0,05	0,57	9,39E+06	2,03E+08
87,8	8,61E+02	12,92	0,05	0,62	1,05E+07	2,09E+08
148,1	1,45E+03	13,3	0,08	1,00	1,78E+07	2,19E+08
166	1,63E+03	13,49	0,10	1,19	1,99E+07	2,06E+08
177,1	1,74E+03	13,52	0,10	1,22	2,13E+07	2,14E+08
216,4	2,12E+03	13,84	0,13	1,54	2,60E+07	2,08E+08

$$\Omega_{\text{exp}} = 2,10 \pm 0,06.10^8 \text{ Pa}$$



# Coefficient de frottement solide



## Coefficient de frottement solide

On néglige  $d\vec{P}$

$$1) \text{ } \hookrightarrow \text{ sur } \vec{e}_\theta : -df_T \vec{e}_\theta, -T(\theta) \vec{e}_\theta$$

$$\hookrightarrow \text{ sur } \vec{e}_{\theta+d\theta} : T(\theta+d\theta) \vec{e}_{\theta+d\theta}$$

$$\hookrightarrow \text{ sur } \vec{e}_r : dN \vec{e}_r$$

Donc, on a maintenant :

$$\hookrightarrow \text{ sur } \vec{e}_\theta : -df_T - T(\theta) + T(\theta+d\theta) = 0$$

$$\hookrightarrow \text{ sur } \vec{e}_r : dN - d\theta \cdot T(\theta+d\theta) = 0$$

$$\Leftrightarrow dN = T(\theta+d\theta) d\theta$$

2) De plus, on a :

$$\frac{d\vec{e}_\theta}{d\theta} \approx \frac{\vec{e}_{\theta+d\theta} - \vec{e}_\theta}{d\theta} = -\vec{e}_r$$

$$\text{d'où : } \vec{e}_{\theta+d\theta} = \vec{e}_\theta - d\theta \vec{e}_r$$

4) Or, la loi de Coulomb donne :

$$f_T = f N, \text{ d'où } -df_T = -f dN.$$

$$\text{ce qui donne : } -dN - f(-T(\theta) + T(\theta+d\theta)) = 0$$

## Coefficient de frottement solide

5) On a donc:  $f d\theta T(\theta + d\theta) = T(\theta + d\theta) - T(\theta)$

Or, à l'ordre 1 on a:  $T(\theta + d\theta) d\theta = T(\theta) d\theta$

ce qui donne:  $f d\theta T(\theta) = T(\theta + d\theta) - T(\theta) \Leftrightarrow f T(\theta) = \frac{T(\theta + d\theta) - T(\theta)}{d\theta} \approx \frac{dT}{d\theta}$

Et finalement:  $T(\theta) = A \exp(f\theta)$

En  $\theta = -\frac{\pi}{2}$ :  $T(-\frac{\pi}{2}) = T_1 = m_1 g$ , en  $\theta = \frac{\pi}{2}$ :  $T(\frac{\pi}{2}) = T_2 = m_2 g$

et  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{A \exp(\frac{\pi}{2} f)}{A \exp(-\frac{\pi}{2} f)} = \exp(\pi f)$  et  $\frac{T_2}{T_1} = \frac{m_2}{m_1}$

d'où:  $\exp(\pi f) = \frac{m_2}{m_1}$  et enfin:  $f = \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_2}{m_1}\right)$

On a donc  $f = \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{m_1}{m_2}\right)$  où  $m_1$  est la masse à gauche et  $m_2$  la masse à droite.

# Programmes informatiques

Modèle solide :

```
def Simulation_Solide(f, k, m, l0, hauteur_de_chute):
    """
    Définition des variables globales du problème
    """
    g=9.81
    dt=0.0001

    """
    Définitions des listes
    """
    A=[g]
    V=[0]
    Z=[0]
    T=[0]

    sg=V[-1]/(abs(V[-1])+10e-14)    #Donne le signe de la vitesse

    i=0
    w0=sqrt(k/m)

    while T[-1]<6:
        if Z[-1]<=l0:
            A.append(g)
            V.append(g*dt+V[i])
            Z.append(V[i]*dt+Z[i])
            T.append(T[i]+dt)
            i=i+1
        else:
            sg=V[-1]/(abs(V[-1])+10e-14)
            A.append(g+w0**2*l0-sg*f/m-w0**2*Z[i])
            V.append(V[i]+dt*A[-1])
            Z.append(V[i]*dt+Z[i])
            T.append(T[i]+dt)
            i=i+1

    for j in range(len(Z)):    #Réarrangement de la courbe
        Z[j]=l0-Z[j]        #pour avoir le bon point de départ

    plt.plot(T,Z)
    plt.show()
Simulation_Solide(1367.61, 7495.35, 80, 3, 1)
```

# Programmes informatiques

Modèle viscoélastique :

```
def Simulation_Viscoelastique(eta, k1, k2, m, l0, hauteur_de_chute):
    """
    définition des variables globales
    """
    g=-9.81
    dt=0.0001
    K=k1*k2/(k1+k2)
    tau=eta/(k1+k2)
    i=0

    """
    définition des listes
    """
    J=[0]
    A=[g]
    V=[0]
    Z=[l0+hauteur_de_chute]
    T=[0]

    while T[-1]<=10:
        if Z[-1] > 0:                                #chute libre
            J.append(0)
            A.append(g)
            V.append(V[i]+A[i]*dt)
            Z.append(Z[i]+V[i]*dt)
            T.append(T[i]+dt)
            i+=1

        elif Z[-1]<=0:                                #corde tendue
            J.append( (m*g-m*A[i]-K*Z[i])/tau - k2*V[i] )
            A.append(A[i]+J[i]*dt)
            V.append(V[i]+A[i]*dt)
            Z.append(Z[i]+V[i]*dt)
            T.append(T[i]+dt)
            i=i+1

    plt.plot(T,Z)
    plt.show()
```

Simulation\_Viscoelastique(89.22, 1390.16, 6614.93, 80, 3, 1)

## Négligeabilité des frottements de l'air

Pour un homme de 80 kilos modélisé par une boule :  $\rho_{corps} \approx 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

$$V_{boule} = \frac{m}{\rho} = 0,08 \text{ m}^3$$

$$R_{boule} = \sqrt[3]{\frac{3.V_{boule}}{4\pi}} \approx 0,28 \text{ m}$$

Avec une force de frottement  $F = kv$

D'après la loi de Stooke :  $k = 6\pi\eta R_{boule}$

$\eta$  la viscosité dynamique (valeur Wikipédia)

$$\eta_{air} = 1,8.10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

Vitesse d'impact pour une chute de 4m

$$v_{impact} = \sqrt{2hg} = 8,9 \text{ m.s}^{-1}$$

On a donc :

$$F_{\max} = 8 \text{ mN}$$

$$W \approx 80 \text{ mJ}$$

$$\Delta E_p \approx 3000 \text{ J}$$

# Table Heuchel

(Société française de matériaux)

Abbréviations normalisées	PE HD500	PE HD1000	PVC	PTFE	PC	PA 6	PA 6.6
Dénomination	Poly-éthylène 500	Poly-éthylène 1000	Chlorure de polyvinyle	polytétra-fluoréthylène	poly-carbonate	polyamide 6	polyamide 6.6
Principales marques (®)	Hostalen GR Ertalène	Cestidur RCH 1000	Hostalit	Téflon Hostaflon	Lexan Makrolon	Nylon 6SA Ertalon 6A Nylatron 6E	Technyl ertalon 66SA Nylatron 66E

		DIN 53478	g/cm <sup>3</sup>	0.95	0.94	1.45	2.25	1.2	1.14	1.14
Densité	Density	DIN 53478	g/cm <sup>3</sup>	0.95	0.94	1.45	2.25	1.2	1.14	1.14
Résistance au choc avec entaille	Notched bar impact value	DIN 53453	KJ/m <sup>2</sup>	sans rupture	sans rupture	5	15	>30	4	4
Alongement à la rupture	Tensile strength	DIN 53456	%	800	600	20	250	100	50	25
Coefficient de friction à sec	Friction coefficient		$\mu$	0.17	0.14	0.6	0.09	0.55	0.41	0.41
Dureté à la bille H358/30	Hardness ball H358/30	DIN 53456		-	-	-	-	-	136	156
Dureté shore	Hardness shore	DIN 53605	N/mm <sup>2</sup>	D 66	D 65	153	D 51	130	D 75	D 77
Dureté Rockwell	Hardness Rockwell	ASTM D785		-	-	-	-	-	-	-
Résistance à la traction	Traction load	DIN 53456	N/mm <sup>2</sup>	29	22	-	-	-	M 82	M 89
Module d'élasticité en traction	Modulus of elasticity	DIN 53457	N/mm <sup>2</sup>	900	650	3000	700	2300	2800	3300
Résistivité transversale *	Insulating resistance	DIN 53482	$\Omega/cm$	$10^{10}$	$10^{10}$	$5 \cdot 10^{13}$	$10^{10}$	$10^{10}$	$5 \cdot 10^{14}$	$10^{15}$
Rigidité diélectrique *	Flatwise electric strength	DIN 53481	KV /mm	90	90	30	52	27	35	40
Constante d'électrique à 1 KHz *	Dielectric constant 1 KHz	DN53483		2.4	2.4	-	2.1	-	4	3.7
Constante d'électrique à 1 MHz *	Dielectric constant 1 MHz	DN53483		2.4	2.4	-	2.1	-	3.6	3.4
Indice de résistance au cheminement *	Tracking resistance index	DIN 53480	Classe	> KC 600	> KC 600	-	> KC 600	-	> KC 600	> KC 600
Résistance superficielle	Superficial resistance	DIN 53482	$\Omega$	$10^{13}$	$10^{13}$	-	$10^{17}$	$10^{15}$	$5 \cdot 10^{12}$	$10^{13}$
Tangente à l'angle de perte à 1 KHz *		DIN 53483		$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	-	$3 \cdot 10^{-5}$	-	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Tangente à l'angle de perte à 1 Mhz *		DIN 53483		$3 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4}$	-	$7 \cdot 10^{-5}$	-	$3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Conductibilité thermique $\perp$	Thermal conductivity $\perp$	DIN 52612	W/Km	0.38	0.42	-	-	-	0.28	0.25
Coefficient de dilatation linéique //	Linear expansion coefficient		m/m K	$200 \cdot 10^{-6}$	$200 \cdot 10^{-6}$	$80 \cdot 10^{-6}$	$180 \cdot 10^{-6}$	$70 \cdot 10^{-6}$	$85 \cdot 10^{-6}$	$80 \cdot 10^{-6}$
Point de fusion	Melting temperature	ASTM D 709	°C	130	136	110	327	150	220	255
Température d'utilisation continu	Temperature index		°C	70	70	50	250	120	90	105
Température d'utilisation en pointe	Max. temperature		°C	100	100	70	300	145	160	180
Température d'utilisation au froid	Minimal temperature		°C	-150	-	-	-200	-	-40	-30
Résistance à la combustion	Glow rod test		Classe	3	3	-	1	-	2b	2b