

# Un solide mis en rotation par un fil lié à une tige qui tombe

*Vérification du théorème de l'énergie cinétique.*

*Valeur de l'accélération de la tige.*

*Détermination de la valeur du couple de frottement de l'axe  
sur le solide lors du mouvement de rotation*

par Alfred ZIMMER

Lycée Fustel de Coulanges - 67000 Strasbourg

---

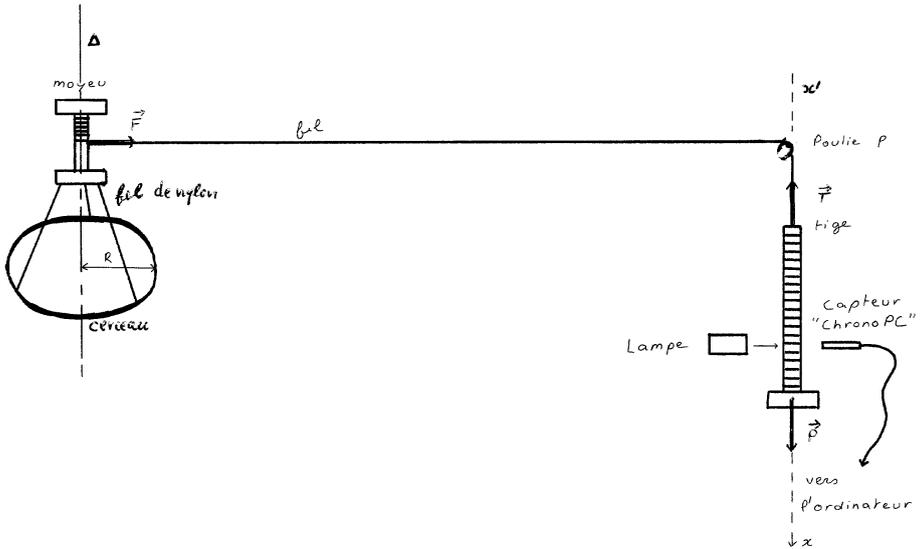
## INTRODUCTION

J'ai eu l'idée d'améliorer un T.P. déjà existant au lycée en utilisant le capteur et le logiciel «Chrono-PC» mis au point par des collègues de l'U.d.P. et découvert lors d'un stage organisé par l'un de ses auteurs, M. BOSSERT du lycée Couffignal, ainsi que le logiciel «Regressi» que nous avons acheté en 1989 chez Micrélec. J'ai expérimenté ce T.P. pour la partie énergétique dans ma classe de Première S et toute la partie concernant l'accélération de la tige peut être faite en Terminale S ou éventuellement en Mathématiques Spéciales. Le matériel utilisé, le logiciel et le capteur «Chrono-PC» permettent de mettre au point le T.P. à très peu de frais et le logiciel «Regressi» permet à chacun d'exploiter les résultats comme il l'entend.

## 1. DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE

Un cerceau solidaire d'un moyeu de bicyclette est entraîné dans un mouvement de rotation par rapport au sol lors de la chute d'une tige fixée à un fil fin lui même enroulé autour du moyeu.

La tige située à droite du schéma, éventuellement plus ou moins lestée, est guidée par un tube de plastique et un trombone fixé sur le tube (pour empêcher la tige de tourner) et se déplace donc verticalement avec des frottements pratiquement négligeables selon l'axe  $x'x$  (dirigé vers le bas et passant au milieu de la tige, l'origine de l'axe étant la position d'une fente de la tige au début des mesures).



Cette tige (tringle de rideau) comporte des fentes régulièrement espacées de 15 mm et on utilise le logiciel «Chrono-PC» et le capteur correspondant. A la tige est attaché un fil fin, de masse négligeable, qui passe sur une poulie de masse négligeable et qui est enroulé autour de l'axe mobile d'un moyeu de bicyclette. Sur ce moyeu je peux placer un cerceau en acier attaché au moyeu par des fils et des trombones (le cerceau doit comporter de petites encoches). On laisse tomber la tige qui entraîne ainsi, par l'intermédiaire du fil, le moyeu dans un mouvement de rotation autour de son axe. Le capteur et le logiciel permettent en quelques secondes ou dizaine de secondes, selon le cerceau utilisé, d'avoir la hauteur de chute en fonction du temps (vingt couples de valeurs dans les meilleures conditions).

Le fichier obtenu est reconverti ensuite en fichier «Regressi» (c'est prévu par le logiciel «Chrono-PC») de façon à pouvoir traiter l'information et procéder beaucoup plus facilement qu'avec une calculatrice à la modélisation mathématique.

## 2. LA THÉORIE DU SYSTÈME, LES MESURES FAITES ET SA MODÉLISATION, CALCUL DE L'ACCÉLÉRATION

La théorie qui suit tient compte des lois de la mécanique newtonienne tels que nous les enseignons au lycée, et en particulier du

poids de la tige, du moment d'inertie du moyeu, du cerceau, du couple de frottement de l'axe du moyeu sur ce dernier. Je n'ai pas tenu compte des frottements négligeables entre le guide de la tige et la tige ni de l'énergie cinétique acquise par la petite poulie p assimilée à une poulie parfaite.

Nous pouvons étudier l'accélération de la tige et vérifier que sa valeur réelle correspond à la valeur théorique ou, compte tenu de l'écart, calculer le moment du couple de frottement de l'axe sur le moyeu. C'est cette deuxième solution que j'ai retenue pour avoir un exemple de calcul de couple de frottement d'un moyeu en mouvement par rapport à son axe, ce qui n'est pas souvent proposé aux élèves. Dans un premier temps j'ai calculé théoriquement l'accélération  $a$  de la tige ; mais le collègue, qui souhaite faire ce T.P., peut uniquement utiliser, après avoir fait l'inventaire des forces, le théorème de l'énergie cinétique appliqué d'abord à la tige en translation rectiligne puis au système (moyeu, cerceau) en rotation autour de son axe immobile par rapport au sol et se reporter à la fin du texte (paragraphe b).

#### *a - Détermination de l'accélération de la tige réalisable en Terminale*

Appliquons la loi de la dynamique à la tige de masse  $m$  : nous pouvons écrire l'égalité vectorielle  $\vec{P} + \vec{T} = m \cdot \vec{a}$  soit avec des valeurs positives :  $P - T = m \cdot a$ .

Or  $a = x''$  où  $x''$  est la dérivée seconde de  $x$  par rapport au temps.

$$\text{Soit :} \quad T = P - m \cdot x'' \quad (1)$$

Considérons la poulie p comme idéale (masse du fil et du réa négligeables, frottements entre l'axe de la poulie et le réa négligeables) ; dans ces conditions :

$$T = F \quad (2).$$

Appliquons au solide tournant autour de l'axe de rotation  $\Delta$ , le théorème de l'énergie cinétique :  $\Delta E_c = W_F + W_{Cf}$  où  $W_F$  représente le travail positif de la force  $F$  pendant le déplacement de l'instant  $O$  s à l'instant  $t$  et  $W_{Cf}$  le travail négatif du couple de frottement de l'axe sur le moyeu.

Or  $W_F = M_{\Delta}(F) \cdot \Delta\alpha$  avec  $M_{\Delta}(F) = F \cdot r$  où  $r$  est le rayon du moyeu sur lequel est enroulé le fil en une seule couche.

$W_{Cf} = -\Gamma \cdot \alpha = -\Gamma \cdot x/r$  où  $\Gamma$  représente le moment du couple de frottement de l'axe du moyeu sur son réa. Soit  $\alpha$  l'angle dont a tourné ce «manège» à l'instant  $t$ . Posons  $\alpha = 0$  rad. à l'instant  $t = 0$ s ; donc  $\alpha$  mesure la variation de l'angle de rotation entre les instants  $0$ s et  $t$ .

$$\begin{aligned} \text{Or : } \Delta E_c &= 1/2 \cdot J \cdot \omega^2 - 1/2 \cdot J \cdot \omega_0^2 \text{ avec } \omega = v/r = x'/r \\ \text{soit : } 1/2 \cdot J \cdot (x'/r)^2 - 1/2 \cdot J \cdot (v_0/r)^2 &= T \cdot r \cdot x/r - \Gamma \cdot \alpha = \\ &T \cdot x - \Gamma \cdot x/r \end{aligned} \quad (3)$$

Or (2) et (1) donnent  $T = P - m \cdot x''$  en reportant cette valeur dans (3) on obtient :

$$1/2 \cdot J \cdot (x'/r)^2 - 1/2 \cdot J \cdot v_0^2 / r^2 = (P - mx'') \cdot x - \Gamma \cdot x/r$$

$$\text{soit avec :} \quad P = m \cdot g$$

$$\begin{aligned} m \cdot x'' \cdot x + 1/2 \cdot J/r^2 \cdot (x'^2 - v_0^2) &= m \cdot g \cdot x - \Gamma \cdot x/r = \\ (m \cdot g - \Gamma/r) \cdot x \end{aligned}$$

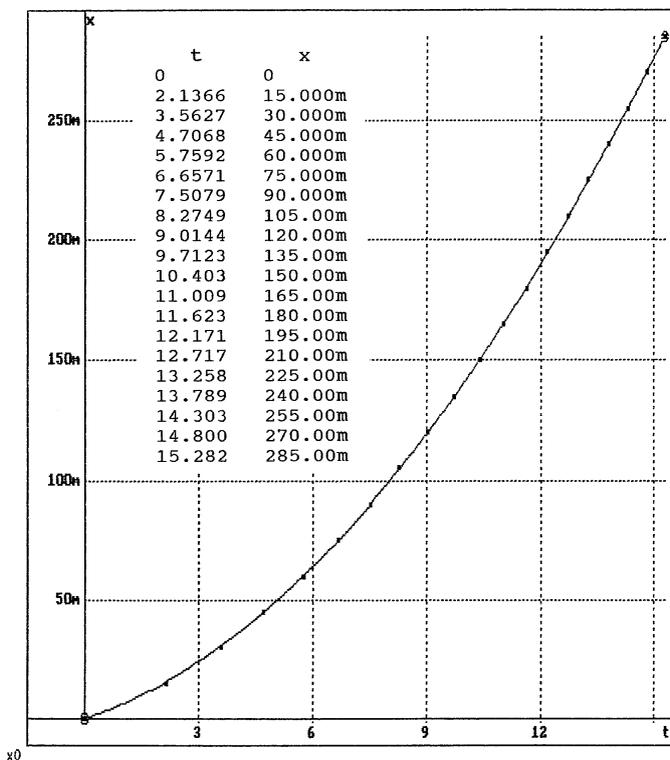
Cette équation différentielle peut a priori effrayer un élève de terminale mais le graphe  $x = f(t)$  issu de l'expérience et sa modélisation empirique, très facile à réaliser avec le logiciel Regressi, nous amène à rechercher une solution du type  $x = 1/2 \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ .

Ci-dessous, pour commencer, les résultats obtenus avec le grand cerceau.

```
Fichier=C:\FICHIERS\REGORPHY\PHYSIQUE\MECA\ENERGIE\MANEGEA
Le fichier de format REGRESSI a:MANEGEAZ.RRR
t=t
x=x
```

```
Modèle
x=1/2*a*t*t+vo*t
a= 1.7242m±12μ vo= 5.5045m±79μ
Ecart relatif sur x = 0.22%
```

Déplacement de la tige en fonction du temps; masse de la tige = 0,2606 kg  
 Le grand cerceau a une masse de 1,2257 kg et un rayon de 0,2475 m  
 Le moyeu a un rayon de 0,00725 m; valeur du champ de pesanteur = 9,81 N/kg



Le fichier de format REGRESSI a:MANEGEAZ.RRR

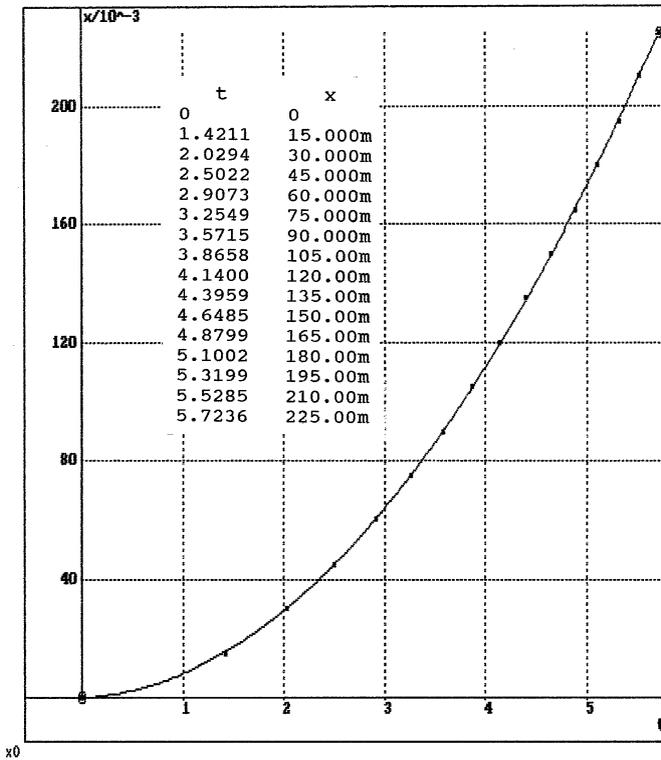
En reportant cette expression dans l'équation différentielle ainsi que les expressions dérivées  $x' = a \cdot t$  et  $x'' = a$ , nous pouvons vérifier que l'équation différentielle est vérifiée à condition de prendre l'expression de  $a$  suivante :

$$a = (g - \Gamma/m \cdot r)/(1 + J/m \cdot r^2).$$

En prenant des conditions initiales données, il y a une seule solution physique possible. La valeur de l'accélération  $a$  de la tige est déterminée par calcul de l'ordinateur en utilisant le logiciel «Regressi» à partir des mesures faites.

A noter qu'avec le grand cerceau l'accélération calculée est  $(1,724 \pm 0,012) \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-2}$ , alors qu'avec le petit cerceau elle vaut  $(13,216 \pm 0,087) \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-2}$  et que sans cerceau elle est  $(3,788 \pm 0,068) \text{ m.s}^{-2}$ , valeur d'un tout autre ordre de grandeur. Voir ci-dessous les graphiques et les modèles mathématiques concernant les expériences faites avec le petit cerceau et sans cerceau :

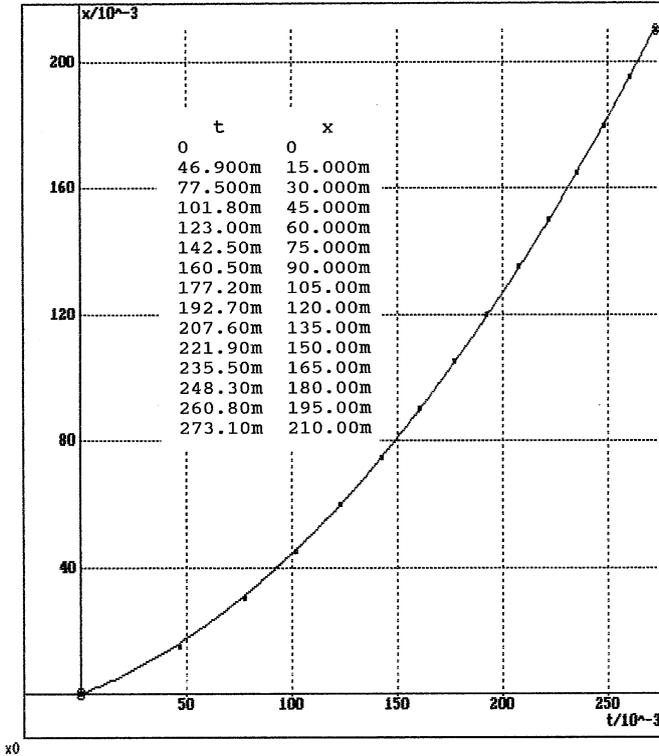
Déplacement de la tige de masse 0,2606 kg en fonction du temps. Le petit cerceau a une masse de 0,6244 kg et un rayon de 0,12525 m. Le moyeu a un rayon de 0,00725 m;  $g = 9,81 \text{ N/kg}$



Le fichier de format REGRESSI a:MANEGE11.RRR

x0  
 Fichier=A:ENERGIECMANEGE11  
 Modèle  
 $x = 1/2 a t^2 + v_0 t$   
 $a = 13.216 \pm 0.087$   $v_0 = 1.5374 \pm 200$   
 Ecart relatif sur x = 0.24%

Déplacement de la tige de masse 0,2606 kg sans cerceau. Le moyeu a un rayon de 0,00725 m;  $g = 9,81 \text{ N/kg}$



Fichier=C:\FICHIERS\REGORPHY\PHYSIQUE\MECA\ENERGIE\MANEGSC2  
 Le fichier de format REGRESSI b:MANEGSC2.RRR  
 t=t  
 x=x

Modèle

$x = 1/2 * a * t^2 + v_0 * t$   
 $a = 3.7878 \pm 68m$        $v_0 = 254.59m \pm 7.7m$   
 Ecart relatif sur x = 0.44%

***b - Le moment du couple de frottement  $\Gamma$  il est déterminé lors de la modélisation qui suit***

En écrivant le théorème de l'énergie cinétique pour la tige, nous obtenons :

$$\Delta E_c = P \cdot \Delta h - T \cdot \Delta h \text{ soit } 1/2 \cdot m \cdot v^2 - 1/2 \cdot m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot x - T \cdot x.$$

En écrivant le théorème de l'énergie cinétique pour le solide en rotation, nous obtenons :

$$1/2 \cdot J \omega^2 - 1/2 \cdot J \cdot \omega_0^2 = F \cdot r \cdot \alpha - \Gamma \cdot \alpha = F \cdot r \cdot x/r - \Gamma \cdot x/r$$

$$\text{soit :} \quad F \cdot x = \Gamma \cdot x/r + 1/2 \cdot J \cdot \omega^2 - 1/2 \cdot J \cdot \omega_0^2$$

Or  $F = T$  pour une poulie parfaite donc :

$$1/2 \cdot m \cdot v^2 - 1/2 \cdot m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot x - F \cdot x =$$

$$m \cdot g \cdot x - \Gamma \cdot x/r - 1/2 \cdot J \cdot \omega^2 + 1/2 \cdot J \cdot \omega_0^2 \quad \text{soit}$$

$$1/2 \cdot m \cdot v^2 - 1/2 \cdot m v_0^2 + 1/2 \cdot J \cdot (\omega^2 - \omega_0^2) = m \cdot g \cdot x - \Gamma \cdot x/r$$

$$\text{soit :} \quad 1/2 \cdot m \cdot v^2 + 1/2 \cdot J \cdot \omega^2 =$$

$$m \cdot g \cdot x - \Gamma \cdot x/r + 1/2 \cdot m v_0^2 + 1/2 \cdot J \cdot v_0^2/r^2$$

$$\text{soit :} \quad E_{c1} + E_{c2} = W_p - \Gamma \cdot x/r + E_{c10} + E_{c20}$$

Cette égalité peut être vérifiée facilement avec «Regressi» ; il suffit de créer les nouvelles variable  $v$ ,  $W_p$ ,  $E_{c1}$ ,  $E_{c2}$ ,  $E_c$ , à partir des variables existantes mesurées :

$$v = x' ; W_p = m \cdot g \cdot x, E_{c1} = 1/2 \cdot m \cdot v^2, E_{c2} = 1/2 \cdot J \cdot \omega^2, \\ E_c = E_{c1} + E_{c2}.$$

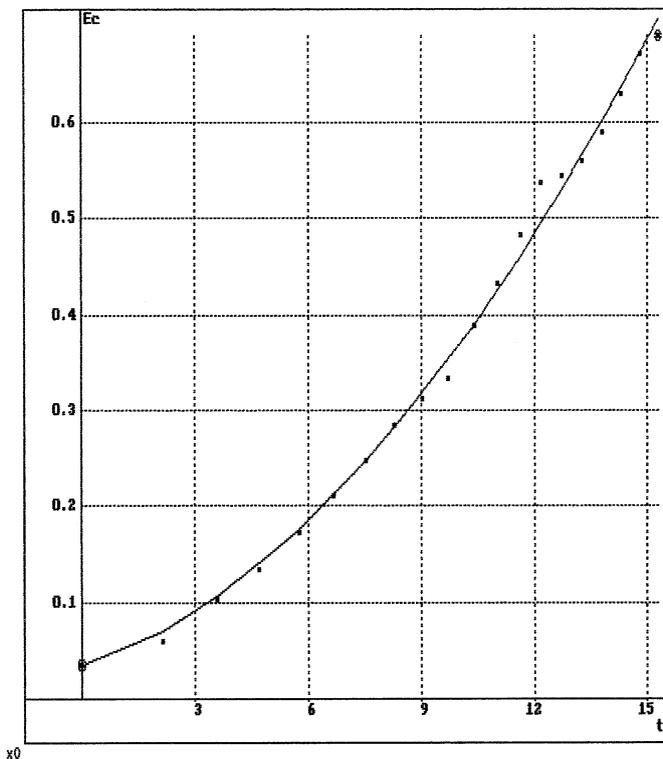
Si nous prenons le modèle  $E_c = W_p - \Gamma \cdot x/r + E_{c10} + E_{c20}$  avec la valeur numérique correcte pour  $x = 0$  de  $E_{c10} + E_{c20}$ , déduite du tableau de valeurs, l'ordinateur avec Regressi détermine  $\Gamma$  et  $J$ .

Le modèle est vérifié à 2 ou 3 % près, que nous prenions un grand cerceau, ou un petit cerceau. Cette précision est bien meilleure que ce qui peut se faire sans l'outil informatique, ce qui était l'un des objectifs visés par cette amélioration du T.P.

Voir les graphes et les modèles ci-après :

Calcul du moment du couple de frottement de l'axe sur le moyeu de rayon 0,00725 m avec un grand cerceau de masse 1,2257 kg et de rayon 0,2475 m  
 Masse de la tige 0,2606 kg;  $g = 9,81 \text{ N/kg}$

t	x	v	$\Omega$	Ec1	Wp	Ec2	Ec
0	0	7.0205m	968.34m	6.4222 $\mu$	0	35.202m	35.208m
2.1366	15.000m	9.1181m	1.2577	10.833 $\mu$	38.347m	59.380m	59.391m
3.5627	30.000m	11.957m	1.6492	18.628 $\mu$	76.695m	102.11m	102.12m
4.7068	45.000m	13.706m	1.8905	24.477 $\mu$	115.04m	134.16m	134.19m
5.7592	60.000m	15.577m	2.1485	31.614 $\mu$	153.39m	173.29m	173.32m
6.6571	75.000m	17.181m	2.3697	38.461 $\mu$	191.74m	210.81m	210.85m
7.5079	90.000m	18.643m	2.5715	45.290 $\mu$	230.08m	248.25m	248.29m
8.2749	105.00m	19.927m	2.7486	51.740 $\mu$	268.43m	283.60m	283.66m
9.0144	120.00m	20.906m	2.8836	56.949 $\mu$	306.78m	312.16m	312.21m
9.7123	135.00m	21.607m	2.9803	60.834 $\mu$	345.13m	333.45m	333.51m
10.403	150.00m	23.340m	3.2193	70.981 $\mu$	383.47m	389.07m	389.14m
11.009	165.00m	24.589m	3.3915	78.779 $\mu$	421.82m	431.81m	431.89m
11.623	180.00m	25.992m	3.5850	88.026 $\mu$	460.17m	482.49m	482.58m
12.171	195.00m	27.412m	3.7810	97.912 $\mu$	498.51m	536.69m	536.78m
12.717	210.00m	27.591m	3.8056	99.190 $\mu$	536.86m	543.68m	543.79m
13.258	225.00m	28.005m	3.8628	102.19 $\mu$	575.21m	560.15m	560.26m
13.789	240.00m	28.720m	3.9614	107.48 $\mu$	613.55m	589.11m	589.22m
14.303	255.00m	29.701m	4.0966	114.94 $\mu$	651.90m	630.03m	630.14m
14.800	270.00m	30.659m	4.2289	122.48 $\mu$	690.25m	671.36m	671.48m
15.282	285.00m	31.095m	4.2889	125.98 $\mu$	728.60m	690.55m	690.68m



0

Fichier=C:\FICHIERS\REGORPHY\PHYSIQUE\MECA\ENERGIE\MANEGEAZ

Le fichier de format REGRESSI a:MANEGEAZ.RRR

t=t

x=x

v=vitesse instantanée de la tige

 $v=d(x)/d(t)$  $\Omega$ =vitesse angulaire du moyeu et du cerceau $\Omega=v/0.00725$ 

Ec1=énergie cinétique de la tige

 $Ec1=1/2*0.2606*v*v$ 

Wp=travail du poids de la tige

 $Wp=0.2606*9.81*x$ 

Ec2=énergie cinétique du cerceau et du moyeu

 $Ec2=1/2*1.2257*0.2475*0.2475*\Omega*\Omega$ 

Ec=énergie cinétique totale de la tige et du cerceau

 $Ec=Ec1+Ec2$ 

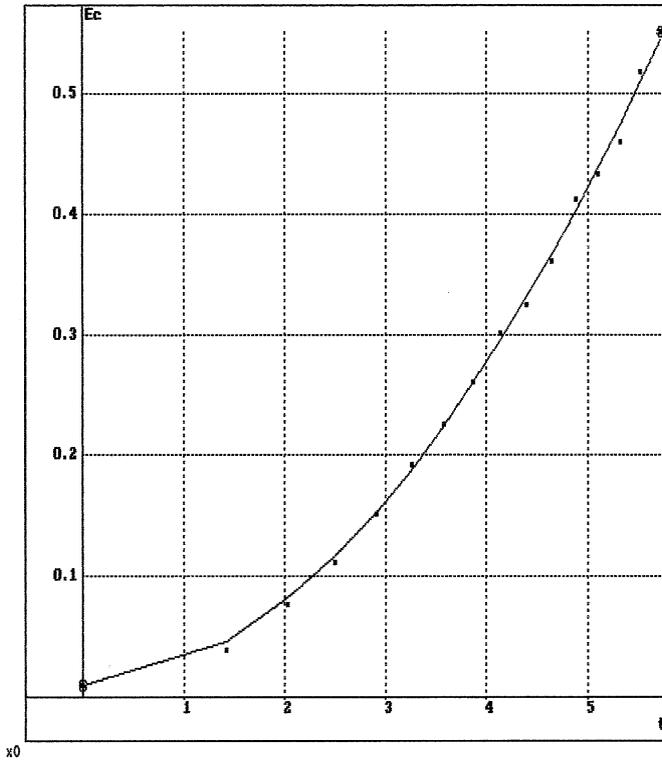
Modèle

 $Ec=Wp-\Gamma*x/0.00725+0.035208$  $\Gamma= 1.4170m\pm 260\mu$ 

Ecart relatif sur Ec = 3.1%

Calcul du moment du couple de frottement de l'axe sur le moyeu avec un petit cerceau de masse 0,6244 kg et de rayon 0,12525 m. La tige a une masse de 0,2606 kg et le rayon du moyeu est de 0,00725 m;  $g=9,81$  N/kg

t	x	v	Ec1	$\Omega$	Ec2	Ec	Wp
0	0	10.555m	14.517 $\mu$	1.4559	10.381m	10.396m	0
1.4211	15.000m	20.431m	54.393 $\mu$	2.8181	38.896m	38.951m	38.347m
2.0294	30.000m	28.635m	106.84 $\mu$	3.9497	76.404m	76.511m	76.695m
2.5022	45.000m	34.581m	155.82 $\mu$	4.7698	111.43m	111.58m	115.04m
2.9073	60.000m	40.324m	211.88 $\mu$	5.5620	151.51m	151.72m	153.39m
3.2549	75.000m	45.364m	268.15 $\mu$	6.2571	191.75m	192.02m	191.74m
3.5715	90.000m	49.239m	315.91 $\mu$	6.7916	225.91m	226.22m	230.08m
3.8658	105.00m	52.903m	364.67 $\mu$	7.2969	260.77m	261.14m	268.43m
4.1400	120.00m	56.728m	419.32 $\mu$	7.8246	299.85m	300.27m	306.78m
4.3959	135.00m	59.002m	453.61 $\mu$	8.1382	324.37m	324.83m	345.13m
4.6485	150.00m	62.222m	504.46 $\mu$	8.5823	360.74m	361.25m	383.47m
4.8799	165.00m	66.496m	576.15 $\mu$	9.1719	412.01m	412.58m	421.82m
5.1002	180.00m	68.182m	605.74 $\mu$	9.4044	433.16m	433.77m	460.17m
5.3199	195.00m	70.138m	641.00 $\mu$	9.6743	458.38m	459.02m	498.51m
5.5285	210.00m	74.479m	722.79 $\mu$	10.273	516.86m	517.59m	536.86m
5.7236	225.00m	76.884m	770.22 $\mu$	10.605	550.78m	551.55m	575.21m



0

Fichier=C:\FICHIERS\REGORPHY\PHYSIQUE\MECA\ENERGIE\MANEG11C

Le fichier de format REGRESSI a:MANEGE11.RRR

t=t

x=x

v=vitesse instantanée de la tige

 $v=d(x)/d(t)$ 

Ec1=énergie cinétique de la tige

 $Ec1=1/2*0.2606*v*v$  $\Omega$ =vitesse angulaire du cerceau $\Omega=v/(7.25*10^{(-3)})$ 

Ec2=énergie cinétique du petit cerceau

 $Ec2=1/2*0.6244*0.12525*0.12525*\Omega*\Omega$ 

Ec=énergie cinétique totale de la tige et du cerceau-moyeu

 $Ec=Ec1+Ec2$ 

Wp=travail du poids de la tige

 $Wp=0.2606*9.81*x$ 

Modèle

 $Ec=Wp-\Gamma*x/0.00725+0.010396$  $\Gamma= 1.3060m\pm 180\mu$ 

Ecart relatif sur Ec = 2.0%

Si nous utilisons un cerceau de moment d'inertie non négligeable, le moment d'inertie du moyeu devient négligeable par rapport à celui du cerceau. En effet  $J = J_0 + M \cdot R^2$  avec  $J_0 =$  moment d'inertie du moyeu sans cerceau ;  $M =$  masse du cerceau et  $R =$  Rayon du cerceau. En effet  $M \cdot R^2$  est bien plus grand que  $J_0$ .

Pour le grand cerceau de rayon 0,2475 m et de masse 1,2257 kg, on trouve  $\Gamma = (1,417 + - 0,260) \times 10^{-3}$  N.m.

Pour le petit cerceau de rayon 0,12525 m et de masse 0,6244 kg, on trouve  $\Gamma = (1,306 + - 0,180) \times 10^{-3}$  N.m.

Compte tenu des incertitudes affichées ces résultats sont les mêmes, ce qui n'est pas trop étonnant compte tenu des vitesses de rotation du moyeu de même ordre de grandeur dans ces deux cas.

En utilisant le moyeu sans cerceau on trouve :

$$\Gamma_0 = (12,9 + - 1) \times 10^{-3} \text{ N.m et } J_0 = (1,8 + - 1,7) \times 10^{-6} \text{ N.m}$$

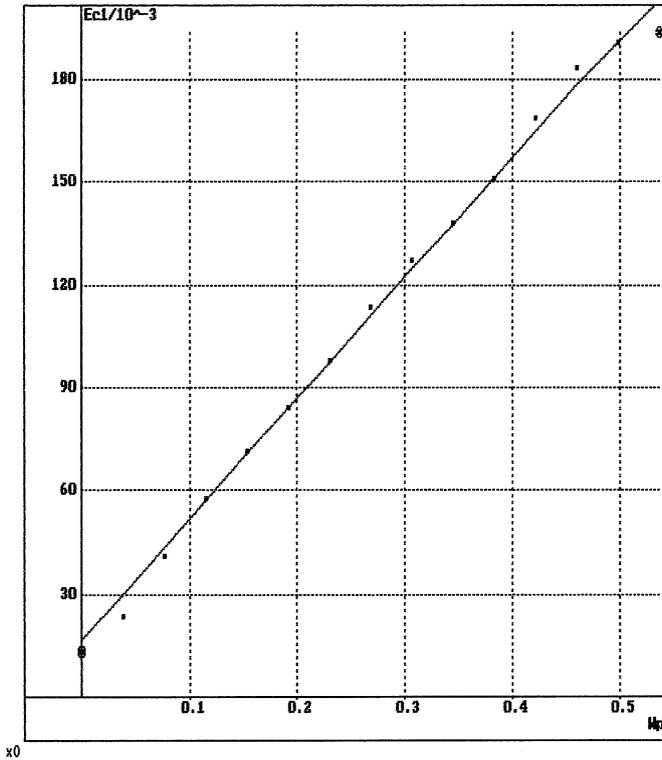
$$\text{avec : } J_0 = m \cdot r^2 \left( \frac{g}{a_0} - 1 - \Gamma_0 / (a_0 \cdot m \cdot r) \right)$$

Avec le logiciel Regressi, l'ordinateur détermine en même temps  $J_0$  et  $\Gamma_0$ . On peut remarquer que  $\Gamma_0$  est nettement supérieur à  $\Gamma$ . Est-ce dû au mouvement beaucoup plus rapide du moyeu par rapport à son axe ? C'est fort probable. Remarquons que l'incertitude relative sur  $J_0$  est grande, mais la valeur de  $J_0$  est pratiquement nulle.

Voir le graphe et le modèle ci-dessous :

Calcul du moment du couple de frottement de l'axe sur le moyeu sans cerceau. La tige a une masse de 0,2606 kg et le rayon du moyeu est 0,00725m;  $g=9,81$  N/kg

t	x	v	Ec1	Wp	$\Omega$
0	0	319.83m	13.328m	0	44.114
46.900m	15.000m	422.93m	23.307m	38.347m	58.335
77.500m	30.000m	561.03m	41.013m	76.695m	77.384
101.80m	45.000m	665.49m	57.707m	115.04m	91.792
123.00m	60.000m	739.68m	71.290m	153.39m	102.02
142.50m	75.000m	802.56m	83.927m	191.74m	110.70
160.50m	90.000m	866.98m	97.941m	230.08m	119.58
177.20m	105.00m	934.27m	113.73m	268.43m	128.86
192.70m	120.00m	987.61m	127.09m	306.78m	136.22
207.60m	135.00m	1.0283	137.77m	345.13m	141.83
221.90m	150.00m	1.0766	151.03m	383.47m	148.50
235.50m	165.00m	1.1385	168.88m	421.82m	157.03
248.30m	180.00m	1.1861	183.31m	460.17m	163.60
260.80m	195.00m	1.2098	190.72m	498.51m	166.87
273.10m	210.00m	1.2195	193.78m	536.86m	168.21



0

Fichier=C:\FICHIERS\REGORPHY\PHYSIQUE\MECA\ENERGIE\MANESC2C

Le fichier de format REGRESSI b:MANEGSC2.RRR

t=t

x=x

v=vitesse instantanée d'un point de la tige chronopc

v=d(x)/d(t)

Ecl=énergie cinétique de la tige

Ecl=1/2\*0.2606\*v\*v

Wp=travail du poids de la tige

Wp=0.2606\*9.81\*x

Ω=vitesse angulaire du moyeu

Ω=v/(7.25\*10<sup>-3</sup>)

Modèle

Ecl=Wp-Γo\*x/(7.25\*10<sup>-3</sup>)+1/2\*Jo\*Ω\*Ω+0.013328+1/2\*Jo\*44.114\*44.114

Γo= 12.934m±1m Jo= 1.8137μ±1.7μ

Ecart relatif sur Ecl = 2.9%

En conclusion nous réussissons non seulement à vérifier avec une très bonne précision le théorème de l'énergie cinétique dans un cas relativement complexe mais encore à déterminer le moment des couples de frottement de l'axe du moyeu sur son réa pour diverses vitesses ce qui peut générer une discussion.

### **MATÉRIELS UTILISÉS**

**Chrono-PC** : Logiciel et capteur diffusés par l'U.d.P. Depuis novembre 1992, date de réalisation de ces expériences, le logiciel a été amélioré.

*Adresse* : M. François BOSSERT - Lycée Couffignal - STRASBOURG.

**Regressi** : Logiciel vendu par :

MICRÉLEC - 4, place Abel Leblanc - 77120 COULOMMIERS.

**Moyeu de bicyclette, cerceau en acier, fils...**