Un auxiliaire précieux dans notre enseignement : le ressort à boudin.

QUELQUES RENSEIGNEMENTS D'ORDRE PRATIQUE.

On trouve assez difficilement dans le commerce, des ressorts réalisant les performances idéales pour nos multiples expériences de cours et de travaux pratiques. Cette année, beaucoup de collègues enseignant en 1re ont pu s'en rendre compte en recherchant le « bon ressort » pour la manipulation portant sur la conservation de l'énergie mécanique d'un pendule élastique réalisée avec un autoporteur.

A Nogent-le-Rotrou est implantée une petite usine dont la seule vocation est la fabrication de ressorts de toutes formes et de toute nature. A notre demande et sur nos indications, elle est en mesure de fournir les modèles de ressorts suivants :

(Tous sont faits de spires de 15 mm de diamètre ; ils ont une longueur au repos variant de 6 à 8 cm ; les 4 premiers types, de R_1 à R_4 sont à *spires non jointives ;* seuls R_5 est à spires jointives).

R_1 ; diamètre du fil 9/10e de mm ; raideur de l'ordre de 40 N/m

R_2 ; diamètre du fil 8/10e de mm ; raideur de l'ordre de 25 N/m

R_3 ; diamètre du fil 7/10e de mm ; raideur de l'ordre de 15 N/m

R_4 ; diamètre du fil 5/10e de mm ; raideur de l'ordre de 2,5 N/m

R_5 ; diamètre du fil 8/10e de mm ; raideur de l'ordre de 25 N/m avec un seuil de traction de l'ordre de 1 N.

Remarques :

* Dans l'ensemble, ces ressorts ne sont pas fragiles. C'est R_1 qui est le plus fragile ; par contre R_4 supporte allégrement un allongement de plus de 50 cm ; R_2 peut être chargé à 10 N sans déformation permanente. Or, en général, en Travaux pratiques, nous demandons à nos élèves de ne pas dépasser 5 N avec ce type de ressort.

* Nous avons inclus dans cette gamme, un ressort à spires jointives car nous pensons que le graphe d'étalonnage $\Delta l = \varphi(f)$ est intéressant à cause de son analogie avec la caractéristique d'une diode à jonction que nos élèves manipulent en électronique.

* Avec le ressort R_4, on a le type de ressort donnant entière satisfaction pour l'étude en 1re de l'énergie mécanique d'un pendule élastique autoporté.

* On reconnaît assez facilement au premier coup d'œil les ressorts R_4 et R_5. Par contre R_1, R_2 et R_3 ont une certaine ressemblance. C'est pour permettre à l'utilisateur de distinguer sans peine ces 3 types que nous avons demandé au fabricant de galvaniser légèrement les ressorts de type R_2, ce qui leur donne un aspect brillant qu'ils sont seuls à posséder.

* L'usine ne livre pas de ressorts au détail ; elle les livre par séries de 10 d'un même type au prix de 25 F la série, toutes taxes comprises, franco de port et d'emballage. La série de type R_4 est plus coûteuse ; elle vaut 50 F.

* Il ne sera pas pris en considération les commandes d'un montant inférieur à 100 F. Le prix de la gamme complète s'élève à 150 F. Remarquons que pour certains T.P. comme l'étude d'un pendule élastique avec deux ressorts en opposition, de l'équilibre d'un corps sous l'action de trois forces concourantes, des associations de ressorts en série ou en parallèle, etc., il peut être souhaitable, afin d'équiper 10 groupes d'une même séance de T.P. de posséder certaines séries en double — les plus utilisés étant R_2 et R_3. Dans ce cas, vous voyez que pour la somme de 200 F, le laboratoire est équipé de façon satisfaisante.

* Ces prix ne sont pas élevés car la liaison est directe entre le fabricant et l'utilisateur.

Nous ignorons le succès que ces renseignements auront auprès des responsables de laboratoires. Il est certain que si le fabricant avait été assuré de livrer au moins un millier de ressorts de chaque type, les prix pratiqués auraient été sensiblement plus bas.

* Adresse du fabricant :
SEFARD, route de Thiron
28400 Nogent-le-Rotrou.

UNE MANIPULATION DU NOUVEAU PROGRAME DE SECONDE, QUI FAIT APPEL AU RESSORT A BOUDIN.

Lors de l'une de nos réunions de concertation entre professeurs de physique d'un même secteur, un collègue a regretté que le nouveau programme de mécanique en Seconde ne permette qu'un petit nombre de manipulations de type classique, c'est-à-

dire des manipulations au cours desquelles chaque groupe travaille sur son propre montage et exécute une série de mesures qu'il exploite...

Certes, cette remarque est juste, mais heureusement, il reste des possibilités de manipulations simples du type classique auxquelles on ne pense pas toujours ; en voici un exemple.

Mesure dynamique d'une masse.

MATÉRIEL : Support universel, ressorts, plateau, masses marquées, Roberval, chronomètre.

L'expérience consiste à noter la durée θ d'un nombre donné d'oscillations du ressort qui supporte le plateau chargé des masses m.

L'élève dresse un tableau, puis dessine le graphe :

$$\theta = f(m).$$

Il utilise ensuite ce graphe pour déterminer la masse inconnue d'un objet personnel et il contrôle le résultat à l'aide d'une Roberval.

Ce montage simple, pratiqué en classes terminales avec un objectif différent, exige peu de matériel. Si l'on dispose d'une gamme convenable de ressorts, il est possible de réaliser des montages non identiques aux performances équivalentes. Par exemple, si, pour conduire plus facilement sa leçon, le professeur désire que tous les groupes réalisent des pendules élastiques de raideur comprise entre 25 et 30 N/m, on prendra R_2 seul, ou bien 2 ressorts R_3 montés en opposition puisque dans ce cas, les deux raideurs s'ajoutent, ou bien R_2 en opposition avec R_4, ce dernier ressort étant bien entendu en dessous du plateau. Les montages en opposition présentent, c'est bien connu, l'avantage d'éviter les balancements intempestifs et nuisibles du plateau, quand le lancement a été mal fait ou qu'on a imprimé au départ une amplitude trop grande.

D'autre part, nous sommes en Seconde avec des élèves qui font leurs premiers pas en physique. Cette manipulation peut être l'occasion de donner une foule de renseignements utiles à un expérimentateur débutant. Par exemple :

La technique du chronométrage :

Dans leur majorité, en début de classe de Seconde, les élèves n'ont encore jamais manipulé un chronomètre manuel.

C'est le moment d'inculquer les principes d'une bonne technique de chronométrage.

Après avoir indiqué le rôle des deux boutons, il faut apprendre aux élèves à enclencher et à stopper la rotation de l'aiguille et ce, d'un mouvement nerveux, sec, rapide, de façon à réduire au maximum l'équation personnelle de l'expérimentateur. (Ainsi procédaient les chronométreurs officiels dans les épreuves sportives avant l'introduction du chronométrage électronique). On est frappé de la mollesse des réactions de certains de nos élèves.

Beaucoup de nos jeunes expérimentateurs ne savent pas non plus compter correctement des oscillations et *a fortiori* si leur fréquence est un peu trop élevée.

Une faute courante consiste à dire, ou à penser « un » à l'instant de l'enclenchement alors que la première oscillation commence seulement.

Et que d'erreurs dans le décompte ! Un « truc simple » consiste à ne jamais utiliser les nombres au-delà de 10. Au lieu de 11, on repart à un, tout en levant un doigt. Ainsi, on compte sans difficultés jusqu'à 100 et on peut opérer sans erreur jusqu'à des fréquences de 2 ou 3 Hz selon la qualité et l'application de l'expérimentateur. Il est bien d'ailleurs de compter une première dizaine pour acquérir le rythme — un musicien appelle cela « une mesure pour rien » — et on enclenche à 10 de cette série d'essai, de sorte que la faute signalée précédemment est automatiquement évitée.

Après ces considérations, pour apprécier si tout le monde a compris, on rassemble la vingtaine d'élèves du groupe autour d'un même montage. Chacun est équipé d'un chronomètre, y compris, bien sûr, le professeur.

On décide du chronométrage d'un nombre donné d'oscillations. Chacun fait sa mesure et on confronte les résultats !

Le premier essai est édifiant !... 2 ou 3 élèves au maximum présentent un résultat correct. On trouve toute la gamme des fautes possibles, y compris celle qui consiste à confondre les boutons, à ne pas se rendre compte que le chronomètre est gradué en 1/5^{e} de seconde et non en 1/10^{e}, etc.

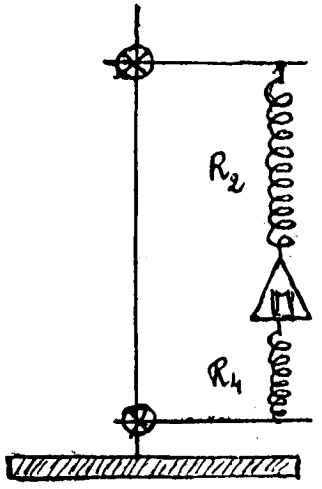
On recommence. Il faut bien 4 ou 5 essais de ce genre pour être sûr que la quasi-totalité de la classe est capable de chronométrer correctement.

Notons que l'élève qui aura compris avant le dernier essai, pourra remarquer que pour ses essais réunis, l'aiguille de son chronomètre affiche presque toujours le même résultat, ou un résultat en différant au plus d'un cinquième de seconde. Il pourra alors méditer sur la précision de la mesure d'un temps à l'aide d'un chronomètre manuel gradué en cinquièmes de seconde.

Il en conclura, par conséquent, que pour obtenir une précision de l'ordre du centième sur la valeur de ϑ, il ne faudra pas mesurer de temps inférieurs à une vingtaine de secondes.

Le lancement du plateau :

Après que l'élève aura constaté que la période des oscillations du ressort ne dépend pas de l'amplitude imprimée au départ, il lui sera très vivement conseillé de ne donner que des amplitudes faibles, s'il veut travailler avec un seul ressort.



Avec les irréductibles, il faudra recourir à l'association de 2 ressorts en opposition en leur faisant constater que la période des oscillations ne dépend pas de la distance entre les deux tiges horizontales du support universel.

L'association $R_2 - R_4$ est préférable à l'association $R_3 - R_3$ qui, pour une même charge demande une plus grande longueur de support.

Un tableau de mesures visant à utiliser une bonne échelle pour le graphe :

Il faut apprendre à nos élèves à choisir pour le graphe une échelle astucieuse, c'est-à-dire une échelle qui va permettre l'utilisation de la quasi-totalité de la surface de la feuille de papier millimétré, et de traduire facilement les valeurs mesurées en coordonnées, ce qui impose de bien choisir ses mesures.

Supposons que l'on utilise le ressort R_2 qui supporte très aisément une charge de masse 500 g placée sur le plateau.

Ce sera notre charge maximale avec laquelle nous ferons notre première mesure. En adoptant cet ordre décroissant des mesures, les élèves opèrent d'abord avec des oscillations lentes, donc plus faciles à suivre. Ils s'entraînent alors à chronométrer dans la région la plus facile.

La feuille de papier millimétré étant du modèle courant : 20 cm × 30 cm, nous adoptons le grand axe de 30 cm comme axe des masses (axe des abscisses) et nous le traçons au bas de la feuille.

Nous plaçons l'origine O des coordonnées à 5 cm de l'extrémité gauche. Avec comme échelle des masses 5 cm pour 100 g, le point correspondant à $m = 500$ g est le point le plus à droite du grand axe.

L'axe des temps mesure 20 cm. Pour avoir une échelle simple, on pourrait mesurer, avec la charge de 500 g un temps égal ou légèrement inférieur à 20 s, mais ce temps de 20 s est, compte tenu de la précision du chronomètre, un peu court, d'autant que les valeurs de θ qui suivront seront encore plus courtes. Donc, adoptons un nombre d'oscillations dont la durée est égale ou légèrement inférieure à 40 s.

Avec cette échelle des temps 20 cm pour 40 s, 1 millimètre correspond à 1/5^{e} de seconde qui est justement la précision de nos mesures.

Ci-après, voici le tableau des mesures obtenues par un groupe d'élèves, expérimentateurs sérieux et appliqués.

Le nombre d'oscillations choisi pour obtenir une valeur de θ proche de 40 s est de 40 oscillations.

Ces résultats sont très corrects.

Mg	θs	Représentation de θ en cm
500	36,8	18,4
400	33,4	16,7
300	29,8	14,9
200	25,6	12,8
100	20,4	10,2
50	17,2	8,6
00	13,4	6,7

Pour les mesures de ϑ jusqu'à $m = 100$ g, une seule mesure bien faite suffit. Pour les deux dernières, il peut être prudent de recommencer plusieurs fois, car la fréquence des oscillations est supérieure à 2 Hz.

Le professeur ayant, en dehors de la manipulation, mesuré la raideur du ressort utilisé par ces élèves : $k = 26{,}8$ N/m, la masse du plateau : $m_0 = 70{,}3$ g et celle du ressort : $m'_0 = 10{,}3$ g, il lui a été possible de comparer les valeurs de ϑ mesurées par les manipulateurs avec celles calculées à l'aide de la formule $T = 2\pi \sqrt{\frac{\mathfrak{M}}{k}}$, $\mathfrak{M}$ valant dans ce cas où le ressort est suffisamment chargé : $m + m_0 + \frac{m'_0}{3}$.

Voici le tableau comparatif.

ϑ (mesuré)$_s$	ϑ (calculé)$_s$
36,8	36,8
33,4	33,4
29,8	29,7
25,6	25,4
20,4	20,2
17,2	17,1
13,4	13,2

On peut remarquer que la comparaison est tout à fait satisfaisante.

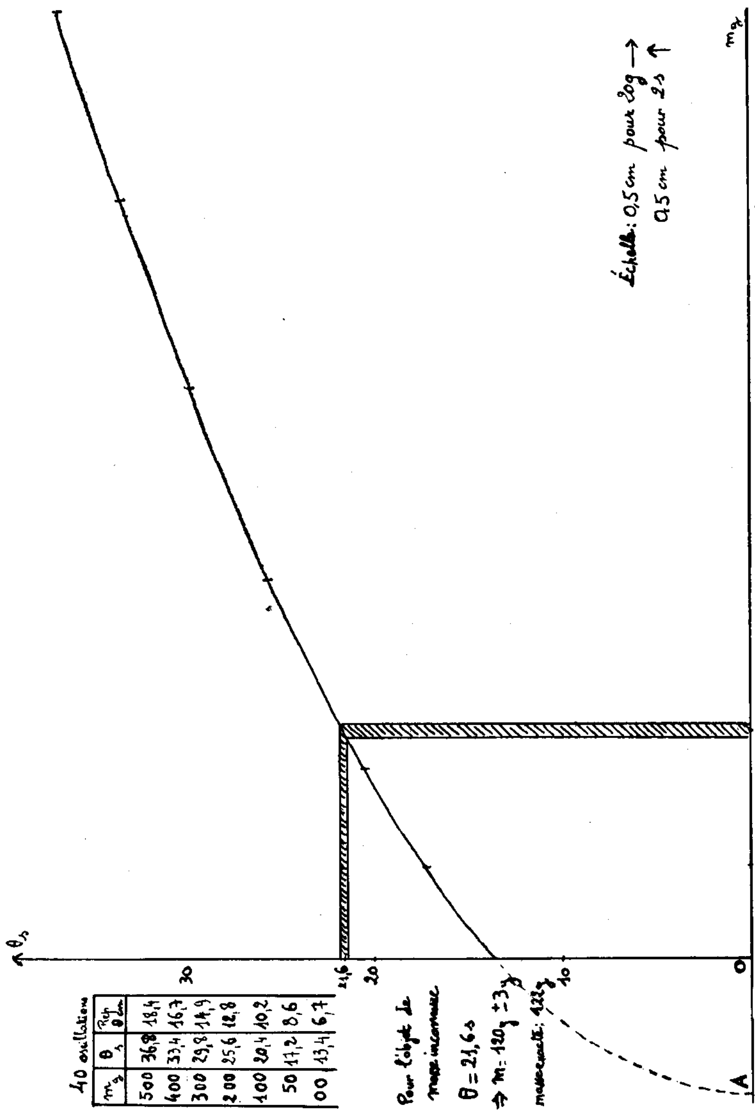
Pourtant, ce n'est pas une performance.

Les conditions pour obtenir de tels résultats sont au nombre de trois : un bon chronomètre, une bonne technique, des expérimentateurs appliqués.

Le tracé du graphe :

Il faut que l'élève abandonne l'idée mathématique qu'il se fait d'un graphe : c'est-à-dire une ligne qui passe d'une façon absolument rigoureuse par les points obtenus.

Dans la présente manipulation, où la masse peut être considérée comme exacte et la valeur de ϑ erronée au maximum de


θ s
m g
0
10
20
21,6
30
50
100
120
200
300
400
500
A
Échelle : 0,5 cm pour 20 g →
0,5 cm pour 2 s ↑
40 oscillations
m g | θ s | Rep θ cm
500 | 36,8 | 18,4
400 | 33,4 | 16,7
300 | 29,8 | 14,9
200 | 25,6 | 12,8
100 | 20,4 | 10,2
50 | 17,2 | 8,6
00 | 13,4 | 6,7
Pour l'objet de masse inconnue
θ = 21,6 s
⇒ m = 120 g ± 3 g
masse exacte : 122 g

1/5e de seconde (1/5e de seconde correspond sur le graphe à 1 mm), on va faire correspondre à chaque couple de valeurs m et θ un petit segment de 2 mm de longueur parallèle à l'axe des ordonnées. C'est le domaine d'incertitude.

Nos élèves doivent comprendre qu'il leur faut tracer une courbe harmonieuse coupant tous ces domaines... à moins d'accidents dans certaines mesures, ou d'étourderies.

Il est d'ailleurs amusant pour le professeur de voir que des élèves qui ont de très bons résultats, sont désolés de ne pouvoir faire passer une droite coupant tous les domaines d'incertitude !

La mesure d'une masse inconnue :

La précision sur θ étant de 1/5e de seconde, nos élèves traceront sur le graphe une bande horizontale de 2 mm de largeur. La bande verticale qui en découle est plus large et d'autant plus large que la masse inconnue est proche de 500 g.

Voici les résultats du groupe auquel nous nous sommes intéressés dans cet article :

θ pour l'objet de masse inconnue : 21,6 s, ce qui entraîne $m = 120 \text{ g} \pm 3 \text{ g}$, m mesurée avec une Roberval : 122 g.

Un complément :

Si l'on dispose encore d'un peu de temps, on pourra proposer aux élèves une extrapolation de la courbe dans le domaine des masses négatives, jusqu'à l'intersection au point A de notre graphe avec l'axe des m.

Pour faciliter ce travail un peu délicat, le professeur indiquera que la tangente à la courbe en A doit être parallèle à l'axe des ordonnées.

Quelle valeur numérique est représentée par OA ?

A quelle masse correspond-elle ?

Question un peu difficile. Les réponses sont rares et hésitantes.

On procède à la pesée du plateau... et tout s'éclaire.

Certes, la valeur extrapolée représente en réalité la masse du plateau m_0 augmentée de $\frac{m'_0}{3}$, mais étant donné la faible valeur de $\frac{m'_0}{3}$ par rapport à m_0 : 3 g environ contre 70 g et la précision limitée de l'extrapolation, on peut passer ce détail sous silence.

Si l'on veut ne pas passer ce détail sous silence, on fait alors observer que le ressort est capable de vibrer même s'il ne supporte aucune charge. Donc la valeur de OA représente en réalité la masse du plateau augmentée de la « participation » du ressort.

Pour étudier les vibrations du ressort non chargé, il faut fixer son extrémité supérieure à la tige, en utilisant, par exemple, un morceau de scotch. Les oscillations sont rapides. Pas question de les compter directement !

Alors, voilà une belle occasion d'utiliser le stroboscope électronique que l'on a déjà présenté à nos élèves de seconde et de s'en servir pour faire une mesure de fréquence.

On concentre alors l'attention de toute la classe sur le montage d'un groupe.

Afin d'éviter les tâtonnements dans le réglage du stroboscope, il est intéressant de faire un calcul de la fréquence attendue. Bien sûr, ce calcul, le professeur le fait pour lui-même. Il ne dira pas à ses élèves que la participation d'un ressort non chargé est égale à $\frac{m'_o}{2{,}47}$, comme cela découle de la formule $T = 4\sqrt{\frac{m'_o}{k}}$ (voir le B.U.P. n° 532 de février 1980) alors qu'elle n'est plus que $\frac{m'_o}{3}$ dès que la charge est suffisante.

Avec le matériel du groupe auquel nous nous sommes intéressés, le calcul prévoit 12,8 Hz. L'expérience montre que lorsque l'immobilité apparente du ressort est obtenue, la graduation du stroboscope indique une fréquence comprise entre 12,5 Hz et 15 Hz, mais très proche de la première valeur.

Certes, le ressort seul a sur le support, un comportement désagréable qui manque de régularité ; c'est pourquoi, si l'on désire discipliner son mouvement et lui imprimer une plus grande amplitude, il suffit de monter deux ressorts identiques en opposition directe. Le réglage du stroboscope pour l'ensemble des deux ressorts est le même que pour un ressort seul. En effet, avec l'association, les masses des deux ressorts s'ajoutent et les raideurs s'ajoutent également.

C. GUILLON,

(*Lycée Rémi-Belleau - Nogent-le-Rrotrou*).