

## Une intéressante expérience sur l'énergie mécanique en 1<sup>re</sup> C

ou

### « DES VERTUS EXTRAORDINAIRES DE LA BOBINE DE RAIL »

---

La bobine de rail (\*), nous la connaissons depuis plusieurs années et ce, grâce à nos collègues de Dreux, ville où est implantée une usine qui la fabrique.

Nous savions déjà qu'elle constitue un simple et merveilleux outil pour l'étude qualitative de nombreux problèmes se rapportant à la propagation des ondes,... mais nous lui avons découvert récemment de nouvelles vertus. En classe de 1<sup>re</sup> C, elle permet d'illustrer expérimentalement, de façon convaincante et spectaculaire, les leçons se rapportant à l'énergie mécanique.

Comment se présente-t-elle ?

C'est, à vrai dire, un gros ressort à spires jointives. Au repos, c'est donc un cylindre. Tous ces cylindres ont une longueur uniforme de 18 cm à la sortie de l'usine. Par contre, le diamètre des spires et la section du fil peuvent avoir différentes valeurs.

Donnons les caractéristiques du type de bobine qui nous semble idéal pour réaliser les expériences qui vont suivre :

Diamètre des spires : 90 mm. Le fil qui la constitue a une section rectangulaire : largeur 4 mm, épaisseur 0,64 mm. Avec cette dernière donnée, un calcul rapide permet d'évaluer le nombre des spires : il « frise » les trois cents.

La raideur de cet engin est très faible et il n'est pas du tout fragile : la bobine de 18 cm peut s'étirer sans dommage sur une longueur de plus de 10 mètres.

Voyons comment notre bobine de rail peut aider le professeur de physique dans l'étude de la première partie du nouveau programme de la classe de 1<sup>re</sup> C.

#### 1) ETUDE STATIQUE.

1° Posons la bobine sur un plan horizontal comme l'indique le schéma ci-après.

---

(\*) On l'appelle aussi « Slinhy ».



Désignons par  $m$  sa masse,  $h$  sa hauteur et prenons comme plan de référence le plan horizontal-support.

Quelle est la valeur de son énergie potentielle de pesanteur ?

$$E_{p1} = \frac{1}{2} m g h.$$

(Voilà un résultat qu'un élève de 1<sup>re</sup> trouve facilement. Il découpe la bobine en petites tranches disposées symétriquement par rapport à la spire centrale, et ce qui est magnifique ici, c'est que ces tranches existent réellement : ce sont les spires. L'élève voit immédiatement qu'un couple de telles spires possède même énergie potentielle que 2 spires coïncidant avec la spire centrale, d'où le résultat).

2° Imaginons que la bobine soit fractionnée en deux tronçons identiques. Quelle est l'énergie potentielle de pesanteur de ce nouveau système ?



Sans trop de peine, un élève moyen voit que chaque tronçon possède une masse égale à  $\frac{m}{2}$ , une hauteur égale à  $\frac{h}{2}$ , donc

une énergie potentielle égale à  $\frac{1}{8} m g h$ .

Pour l'ensemble des deux tronçons :

$$E_{p2} = \frac{1}{4} m g h.$$

3° Fractionnons (toujours par la pensée) la bobine en deux tronçons de hauteurs inégales :  $x$  et  $h-x$ .



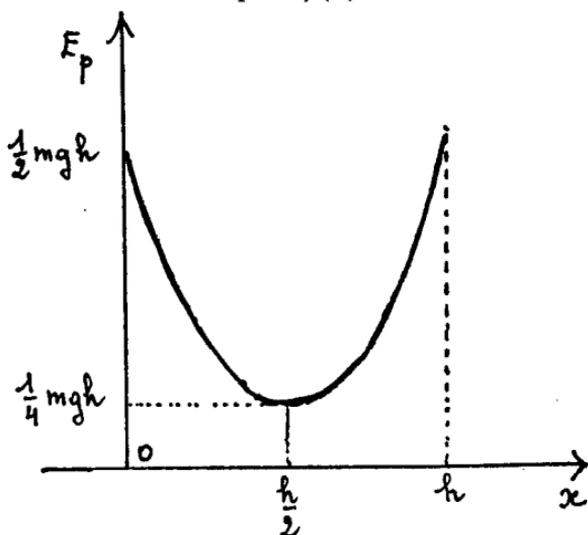
Là, le professeur doit donner le temps aux élèves de découvrir les valeurs des masses de chacun des tronçons :

$$E_p = \frac{1}{2} m \frac{x}{h} g x + \frac{1}{2} m \frac{h-x}{h} g (h-x)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \frac{m g}{h} (2x^2 - 2hx + h^2).$$

Dessignons le graphe de la fonction :

$$E_p = f(x).$$

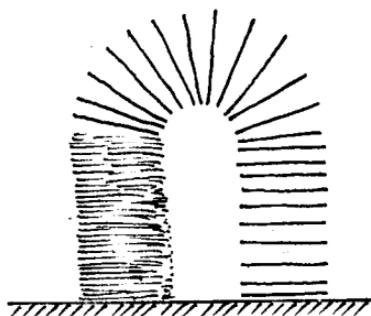


La parabole étant bien connue d'un élève de 1<sup>re</sup>, il n'y a là aucune difficulté.

4° Maintenons la bobine dans l'état indiqué par le schéma ci-après.

(Il suffit d'exercer une très faible pression avec 2 doigts à la partie supérieure de l'ensemble des spires en contact).

Ne lâchons surtout pas, puisque cet état n'est pas un état d'équilibre.



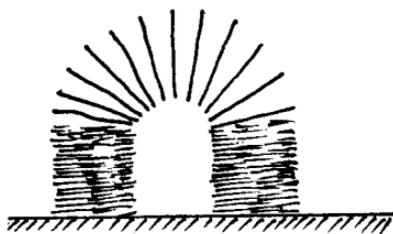
Comparons l'énergie potentielle de la bobine dans ces conditions à celle du 1°, c'est-à-dire à  $E_{p1}$ .

Deux modifications :

- a) un gain d'énergie sous forme d'énergie potentielle élastique. Ce gain est faible car la raideur de la bobine est très faible ;
- b) une perte d'énergie potentielle de pesanteur, un peu plus importante que le gain précédent.

Bilan : par rapport au 1°, l'énergie potentielle totale a légèrement diminué.

5° Nouvel état de notre bobine.



Ici, pas besoin d'intervenir puisqu'il s'agit, d'une position d'équilibre stable.

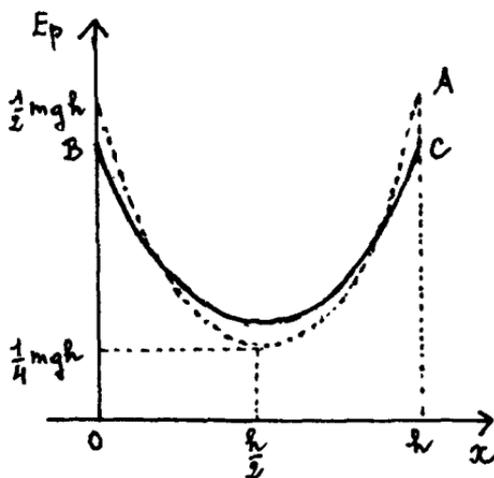
Comparons l'énergie potentielle du système-bobine à celle calculée au 2°.

Encore deux modifications : mais ici, ce sont deux gains légers. Donc l'énergie potentielle est un peu supérieure à  $\frac{1}{4} mgh$ .

Nous pouvons dessiner l'allure réelle du graphe :

$$E_p = f(x)$$

en tenant compte de ce que nous venons de noter.



Il est évident que l'allure de la courbe diffère peu de la portion de parabole, tracée au 3°, que nous reproduisons en pointillé.

#### Remarque.

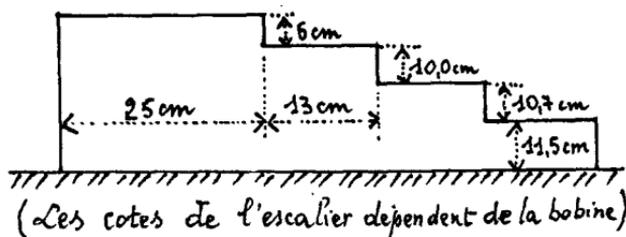
En réalité,  $x$  ne peut atteindre la valeur  $h$  à cause des spires qui sont dilatées quand  $x$  atteint sa valeur maximale. Ces spires, au nombre d'une trentaine, représentent donc une hauteur sensiblement égale à  $\frac{h}{10}$ . La valeur de  $x$  ne peut dépasser  $\frac{9h}{10}$ .

Les points A et C n'ont donc pas mêmes abscisses.

Dans un premier temps, pour simplifier notre étude, nous négligerons le fait que  $x_C$  est inférieur à  $x_A$ . Nous y reviendrons un peu plus loin.

#### II) ETUDE DYNAMIQUE.

*Nota :* Pour cette étude, nous avons réalisé un petit escalier de conception ultrasimple, taillé dans du contreplaqué.



Les marches sont de hauteurs différentes et correspondent chacune à un cas à étudier.

Le palier supérieur a une profondeur beaucoup plus grande que celle des marches ; ainsi, il sera le théâtre de la 1<sup>re</sup> phase des expériences qui vont suivre. On aura pu également s'en servir pour exposer toute la partie statique. Cette surélévation a d'ailleurs un intérêt pédagogique certain : elle met en évidence notre bobine et polarise sur cette dernière l'attention des élèves.

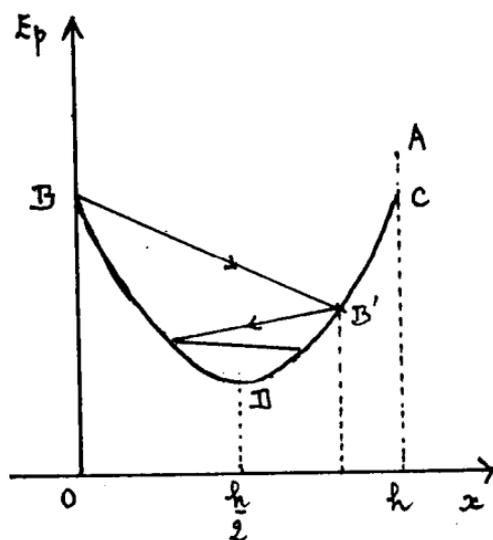
1° Partons de l'état du système décrit au paragraphe 4 de l'étude statique.

Libérons-le. Observons : la bobine exécute des oscillations.

Après la première demi-oscillation, la valeur de  $h-x$  est loin d'être nulle ; un nombre important de spires inférieures ne participe pas.

*Conclusion* : beaucoup de frottements et des chocs inélastiques. Notre système n'est pas conservatif ; son énergie mécanique décroît.

Reportons-nous au graphe :



Nous avons le point B, départ de la 1<sup>re</sup> demi-oscillation ; après cette expérience, il est facile de placer le point B' qui représente la fin de cette 1<sup>re</sup> demi-oscillation.

A l'aide de ces 2 points B et B', nous voyons comment varie l'énergie mécanique E de notre bobine au cours de cette demi-oscillation.



On peut imaginer sans peine ce que devient le graphe de  $E_p = f(x)$ . Il part de la nouvelle position de B, plonge vers D qui a subi un déplacement vers la droite et vers le haut, pour terminer au point C dont la position n'a pas été modifiée.

On voit ainsi que (E) sur laquelle l'expérience précédente nous a apporté des renseignements, vient couper  $E_p$  en un point beaucoup plus proche de C que précédemment. La pente de (E) est dans ce cas plus marquée à cause de l'importance plus grande des chocs inélastiques.

3° En utilisant la marche suivante ( $a$  plus grand), la droite (E) coupe  $E_p$  en C.

L'expérience montre que toutes les spires de la bobine sont concernées par la 1<sup>re</sup> demi-oscillation.

4° Avec la marche suivante, (E) coupe le segment AC. On peut constater qu'à la fin de la 1<sup>re</sup> demi-oscillation, la dernière spire de notre bobine, celle qui est en contact avec le support décolle, puis retombe.

Interprétons : A la fin de cette 1<sup>re</sup> demi-oscillation, le ressort possède encore de l'énergie cinétique. Le décollement de la dernière spire traduit la transformation de cette énergie cinétique en énergie potentielle.

5° Avec la dernière marche, (E) arrive en A.

L'expérience montre que la bobine se reconstitue et les choses en restent là. Elle retrouve son énergie potentielle  $E_{p1}$ .

6° C'est alors que nous changeons d'escalier.

Nous avons construit un second escalier, formé de quatre marches, toutes égales et dont la hauteur dépasse de 3 à 4 cm celle de la marche utilisée au 5°.

Plaçons la bobine en haut.

Partons, comme nous l'avons fait dans tous les paragraphes précédents, de l'état décrit au paragraphe 4 de l'étude statique.

Libérons notre engin.

C'est l'apothéose !!!

La bobine dévale régulièrement les 4 marches à la manière d'un automate. La descente dure une quinzaine de secondes. Chacun a le temps de savourer.

Exclamations des élèves et même rires plus ou moins contents. Si le cours se déroulait dans une salle de spectacle, l'expérience serait ponctuée d'applaudissements.

Personne ne crie « bis », mais il faut recommencer.

Durant l'interclasse, le professeur est assailli d'élèves demandant s'il est possible de se procurer ce très curieux cylindre. A l'approche de Noël, la bobine de rail pourrait être le cadeau-surprise capable d'amuser toute la famille. Personne ne peut rester indifférent devant ce gadget plein de fantaisie.

Mais revenons aux choses sérieuses afin d'interpréter cette descente. A la fin de la première demi-oscillation, on peut dire que l'énergie cinétique de notre bobine est suffisante pour que la dernière spire effectue un véritable « saut de mouton » par-dessus la bobine pratiquement reconstituée.

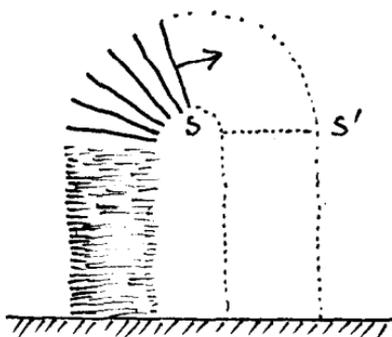
**Remarque importante.**

Revenons sur la simplification que nous avons faite à la fin de l'étude statique.

En réalité, les points C et A n'ont pas même abscisse. Celle de C est sensiblement égale aux  $\frac{9}{10}$  de celle de A, puisqu'en C, toutes les spires ne sont pas entassées.

Comment varie l'énergie potentielle entre A et C ?

$E_{p1}$  n'est pas l'énergie potentielle maximale.



Pour le montrer, tirons légèrement sur la spire supérieure S de la bobine placée debout comme au début de notre étude.

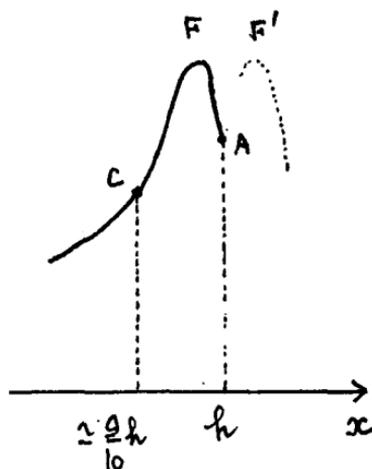
Si la traction est légère et que nous relâchons, S reprend sa position de départ.

Cela n'est pas surprenant puisque  $E_{p1}$  a été augmentée d'un peu d'énergies potentielles élastique et de pesanteur.

En tirant un peu plus, on s'aperçoit que  $E_p$  augmente jusqu'à ce que  $S$  atteigne une position  $S'$ , position d'équilibre instable (dans ce mouvement que nous donnons à  $S$ , il faut avoir comme objectif d'amener la bobine en « position de départ »).

Nous venons de découvrir une barrière de potentiel  $F$ .

Le graphe de  $E_p$  doit être modifié comme il est indiqué ci-après.



Si l'on dessine en pointillé le graphe correspondant à la marche suivante, le point  $A$  apparaît comme étant au fond d'une cuvette de potentiel.

Pour que le ressort se reconstitue (paragraphe 5°), il faut que la droite ( $E$ ) qui représente l'énergie mécanique arrive en  $F$  ou un peu au-dessus de façon à tomber dans la cuvette.

Pour l'apothéose finale (cas n° 6), il suffit que la droite ( $E$ ) saute la cuvette de potentiel en passant au-dessus de la barrière de potentiel  $F'$ .

Nous avons signalé au début de cet article les grandes possibilités offertes par la bobine de rail dans l'étude des phénomènes de propagation.

Toutes les bobines donnent satisfaction, mais celles dont le diamètre est plus petit et la section du fil plus fine sont sans aucun doute encore plus efficaces.

Posée sur le plancher de la salle de classe, ou mieux, quand cela est possible, sur les dalles d'un grand couloir de l'établissement, une telle bobine montre de façon convaincante les lois de

propagation d'un ébranlement transversal, ou longitudinal, d'une vibration ; celles des différentes réflexions... on obtient, bien sûr, sans grandes difficultés, de belles ondes stationnaires.

Le seul petit ennui, dans ces conditions, est engendré par les frottements importants qui amortissent tout de même assez vite les phénomènes observés. Nos collègues de Dreux utilisent une astuce qu'ils pourront exposer eux-mêmes.

En ce qui nous concerne, nous utilisons notre situation élevée au lycée. Le second étage nous offre des fenêtres à une hauteur du sol de l'ordre de 8 à 10 mètres. Eh bien ! nous opérons par la fenêtre. La bobine est verticale. Le professeur est en haut, les élèves sont en bas, dans la cour. Et alors les frottements sont très réduits... Les expériences sont très spectaculaires... pour tout le monde. Les élèves de la classe située au 1<sup>er</sup> étage, juste au-dessous de la salle de physique, se demandent ce qu'est cet interminable boudin qui descend lentement depuis l'étage supérieur et qui, quelques secondes plus tard, s'agite en de curieuses convulsions. M<sup>me</sup> le Censeur, dont le bureau se trouve au rez-de-chaussée, s'intéresse maintenant avec passion aux ondes stationnaires, bien qu'elle soit littéraire, et considère le corps enseignant la physique avec beaucoup de déférence et une admiration renouvelée !

En conclusion, disons qu'à notre avis, il serait souhaitable d'équiper tous les laboratoires des lycées de France et de Navarre, de quelques exemplaires (au minimum deux) de ces bobines aux talents multiples.

Jusqu'à présent, cet article n'était absolument pas commercialisé puisque ce n'est pas un article fini, mais un intermédiaire au cours d'une fabrication. Après avoir présenté l'aspect qui nous a intéressé dans cette étude, la bobine subit un traitement thermique, puis elle est chromée extérieurement et enfin découpée en rondelles qui deviennent autant de segments pour équiper des pistons de moteurs à explosion.

Nous nous sommes adressé au service commercial de l'entreprise FLOQUET-MONOPOL qui fabrique notre bobine pour savoir s'il était possible d'en acquérir à titre onéreux — en effet, les exemplaires que nous possédons étant ce que les professionnels appellent des « lousps » c'est-à-dire des loupés de fabrication —.

La réponse a été positive à condition que FLOQUET-MONOPOL n'assure pas la vente au détail. Il fallait trouver un intermédiaire. Ce rôle, la petite usine SEFARD de Nogent-le-Rotrou, qui fabrique des ressorts, veut bien l'assumer. Donc, dans quelques semaines, les professeurs chargés de laboratoires pourront passer des commandes de bobines en s'adressant à :

SEFARD,

route de Thiron, 28400 Nogent-le-Rotrou.

Deux types vous sont proposés. Nous vous donnons les caractéristiques de chaque type et le prix plafond, celui-ci étant « toutes taxes, franco de port et d'emballage » :

B<sub>1</sub>, diamètre des spires,  $\varnothing = 90$  mm ; largeur du fil,  $l = 4$  mm ; hauteur de la bobine,  $h = 180$  mm ; nombre de spires,  $N \simeq 300$ .

Prix maximal : 150 F.

B<sub>2</sub>,  $\varnothing = 80$  mm ;  $l = 2$  mm ;  $h = 180$  mm ;  $N \simeq 300$ .

Prix maximal : 120 F.

C. GUILLON (*Nogent-le-Rotrou*).

---