

La pétanque de Newton⁽¹⁾

Partie 1

par **Julien BARTHES** et **Pascal LANGLOIS**

Lycée Gustave Eiffel - 21000 Dijon

barthes_j@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le célèbre pendule de Newton est utilisé comme démonstration de la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique lors des chocs élastiques. Nous avons cherché à proposer une explication de son fonctionnement sans utiliser d'équation.

INTRODUCTION

Le pendule de Newton est un dispositif comportant cinq billes identiques suspendues à des potences. Si on écarte une bille, et qu'on la lâche, seule la dernière rebondira. Si l'on écarte deux billes, les deux dernières rebondissent et ainsi de suite.

La résolution physique de ce phénomène consiste à écrire la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique [1]. On obtient alors un système d'équations à résoudre dont une solution correspond au mouvement ci-dessus.

Lors de notre participation aux Olympiades de Physique France, avec trois élèves initialement en première S, nous nous sommes demandés comment la dernière bille du pendule, qui n'a pas assisté au cours de physique, a pu savoir qu'elle devait conserver énergie cinétique et quantité de mouvement de la première bille. Nous avons alors supposé que ces informations devaient être envoyées par la première bille et que le son ou la vibration due au choc devaient contenir ces informations.



Figure 1 : Pendule de Newton.

(1) **NDLR :** À l'heure où ces lignes sont écrites, ce projet a reçu un premier prix aux Olympiades de Physique France. Puis, au concours C-Génial, les élèves ont été primés pour participer au concours international *CASTIC* (College of Arts and Sciences Technology Information Center) en août 2010 à Canton en Chine et MM. BARTHES et LANGLOIS feront parti de la délégation française pour participer au concours européen *Science on stage* en avril 2011 à Copenhague au Danemark.

1. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

1.1. Principe de la mesure

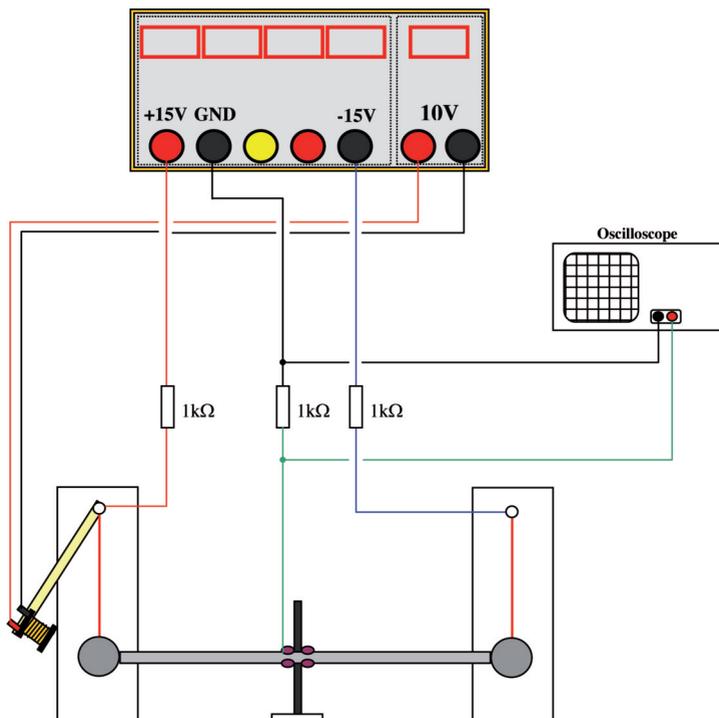


Figure 2 : Schéma du montage.

À l'aide d'un dispositif plus sommaire que celui utilisé par la suite, nous avons mesuré le temps de contact entre deux boules de pétanque lors d'un choc. Après avoir intercalé des boules de dureté différentes (molle, semi-dure, dure), nous nous sommes rendu compte que le temps de contact entre les boules dépendait du type utilisé c'est-à-dire de sa constitution intrinsèque. Nous avons donc opté pour le dispositif ci-dessus nous permettant d'utiliser à la place des boules intermédiaires, un matériau de caractéristiques connu (notamment le module d'Young). En lâchant la boule de gauche à l'aide de l'électroaimant, nous pouvons mesurer le temps du transfert de l'information du choc que nous identifierons comme l'intervalle de temps entre le contact de la bille de gauche sur la barre et la séparation de la bille de droite avec la barre.

Lorsque la boule de gauche vient frapper la barre, l'oscilloscope se déclenche automatiquement lorsque la tension dépasse un niveau donné. En effet, la tension passe alors de $-7,5\text{ V}$ à 0 (étape 1 \rightarrow 2). Cette boule rebondit (étape 3) et la tension retourne à $-7,5\text{ V}$.

Enfin, la boule de droite décolle et la tension tombe à 0. Le schéma suivant illustre ces propos par un schéma électrique équivalent.

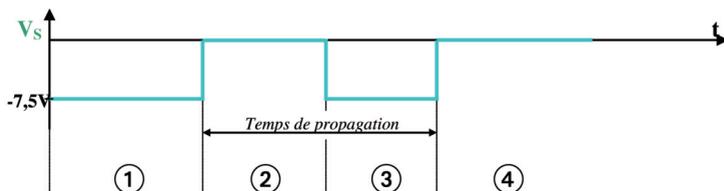
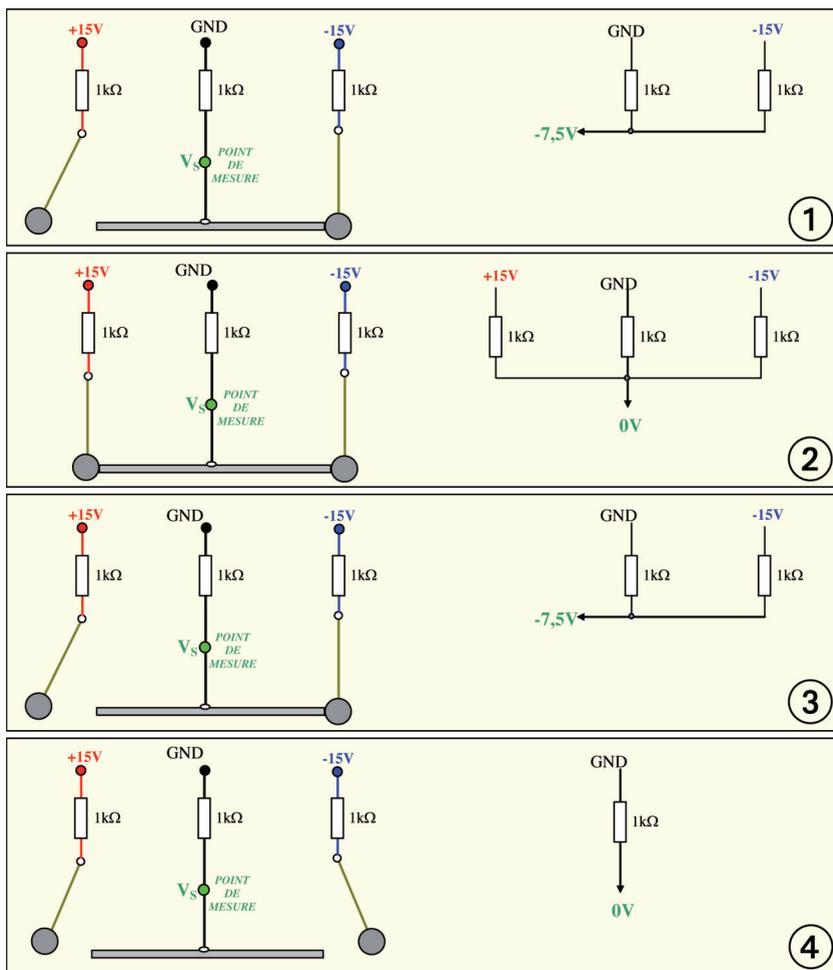


Figure 3 : Schéma électrique et oscillogramme.

1.2. Choix de l'angle

Après réflexion à propos des paramètres pouvant influencer les mesures, nous avons choisi d'étudier l'angle avec lequel la première boule est lâchée.

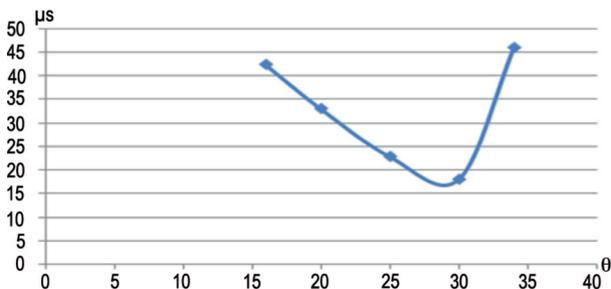


Figure 4a : Écart type du temps de propagation en fonction de l'angle de lâché.

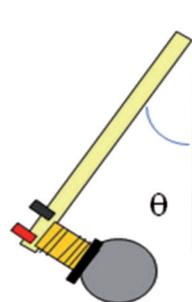


Figure 4b : Mesure de l'angle de lâché.

Pour différents angles de départ, nous avons mesuré le temps de propagation de l'information dans une barre d'acier d'un mètre environ. Sur une dizaine de mesures, nous avons calculé l'écart type que nous avons représenté dans la figure ci-dessus. Nous en avons déduit que les mesures seraient les plus précises pour un angle optimal voisin de 25° .

En effet, lors du choc, on peut constater que si l'angle est compris entre 0° et 20° , l'écart type du temps de propagation est plus élevé, nous avons attribué cet effet à un contact électrique qui n'est pas franc lors de l'impact. À partir de 20° , le choc entre la boule et la barre est plus net et le signal électrique est exploitable.

Pour des angles supérieurs à 30° , le choc est trop important et cela diminue la reproductibilité des mesures. Les oscillogrammes sont d'ailleurs souvent inexploitable et des traces de chocs apparaissent sur la surface de la boule. Dans toutes les mesures proposées dans la suite, nous avons utilisé un angle de lâcher de 25° environ.

1.3. Mesure différentielle

Si notre hypothèse est valide (voir § 3.), cela implique que l'information transite dans le matériau situé entre les boules, mais aussi dans la boule. Comme nous ne connaissons pas comment le son se propage dans la boule, nous avons choisi une méthode de mesure différentielle : nous utilisons deux barres du même matériau, mais de longueurs différentes.

Nous effectuons une mesure de la durée du temps de propagation du choc dans chaque barre. Enfin, nous calculons la différence des temps de propagation sur la différence de longueur des barres. De cette manière, nous obtenons la vitesse moyenne de propagation de la vibration uniquement dans le matériau étudié.

Il est important de souligner que la vitesse moyenne a été obtenue à partir d'une quinzaine de mesures.

	Moyenne (μs)	Écart type (μs)
Barre 1 ($L_1 = 3,000$ m)	886	15
Barre 2 ($L_2 = 1,205$ m)	531	18

Tableau 1

2. EXPLOITATIONS

2.1. Vitesse de l'information

Grâce à la formule ci-dessous nous avons calculé la vitesse de propagation dans l'acier que nous avons à disposition.

$$C = \Delta L / \Delta t$$

	Moyenne (ms)	Incertitude (m/s)
Acier	5 080	190

Tableau 2

Afin de valider notre hypothèse, nous avons choisi de comparer cette valeur à celle du son selon deux manières différentes.

2.2. Propagation du son dans les solides

Dans un solide, la vitesse des ondes mécaniques est dépendante de la masse volumique ρ et du module d'élasticité. Dans le cas des ondes de compression, c'est le module de Young E qui entre en compte et la vitesse se calcule avec la formule suivante :

$$V_{\text{son}} = \sqrt{E/\rho}$$

On trouve sur Internet [2] :

Matériaux	Module d'Young (MPa)	Masse volumique (kg/cm^3)	Vitesse du son (m/s)
Acier de construction	210 000	7 850	5 170

Tableau 3

2.3. Enregistrement du son pendant un impact

La barre utilisée ici était issue de l'atelier du lycée et la dénomination « acier de cons-

truction » nécessitait d'obtenir une confirmation de la valeur obtenue. Lors d'un impact sur la barre, nous avons enregistré le son émis par la barre en plaquant à une des extrémités un microphone. L'oscillogramme et sa transformée de Fourier sont donnés dans les figures 5a et 5b.

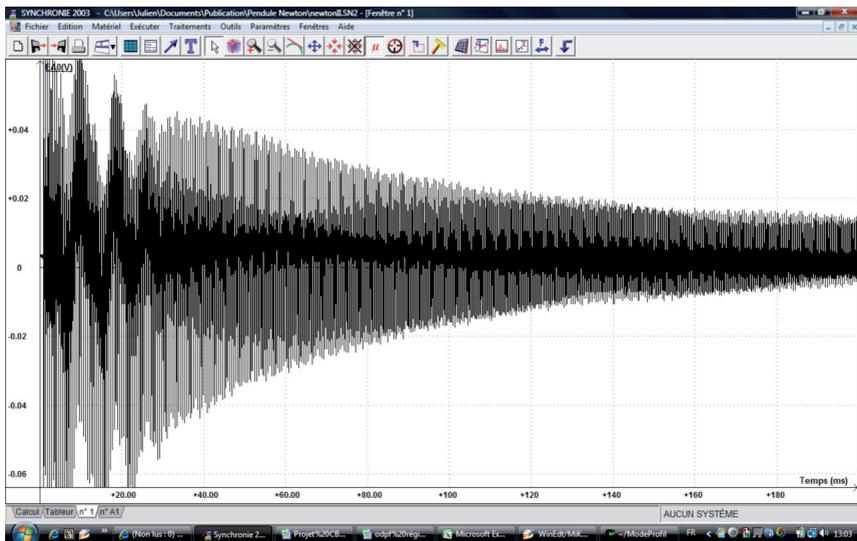


Figure 5a : Enregistrement du son.

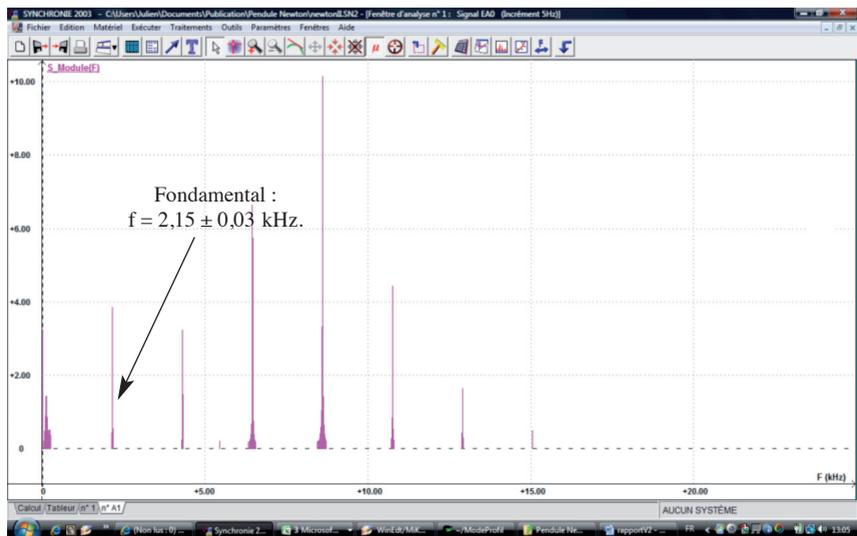


Figure 5b : Spectre.

La présence d'ondes stationnaires excitées par le choc nous permet de remonter à la vitesse du son dans le matériau. En effet, pour une barre d'acier pleine, la continuité de la contrainte aux extrémités impose la présence de nœuds de surpression acoustique à ces extrémités. On peut donc établir que la vitesse du son vérifie :

$$c = 2 fl$$

On obtient alors pour une barre d'acier de $l = 1,20 \pm 0,01$ m :

$$c = 5160 \pm 70 \text{ m/s}$$

Cette valeur coïncide avec les deux précédentes.

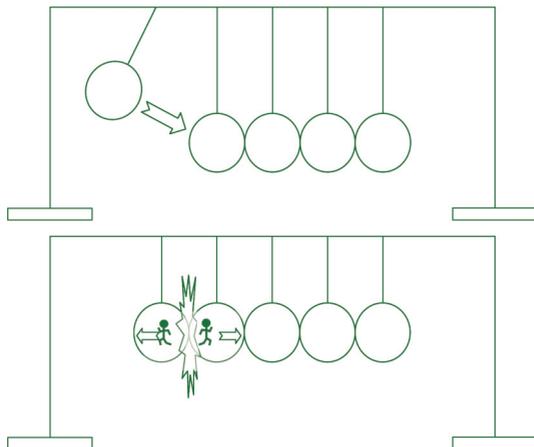
2.4. Bilan

Mesure par chocs	Valeur par module d'Young	Valeur par enregistrement
$c = 5080 \pm 190$ m/s	$c = 5170$ m/s	$c = 5160 \pm 70$ m/s

Tableau 4

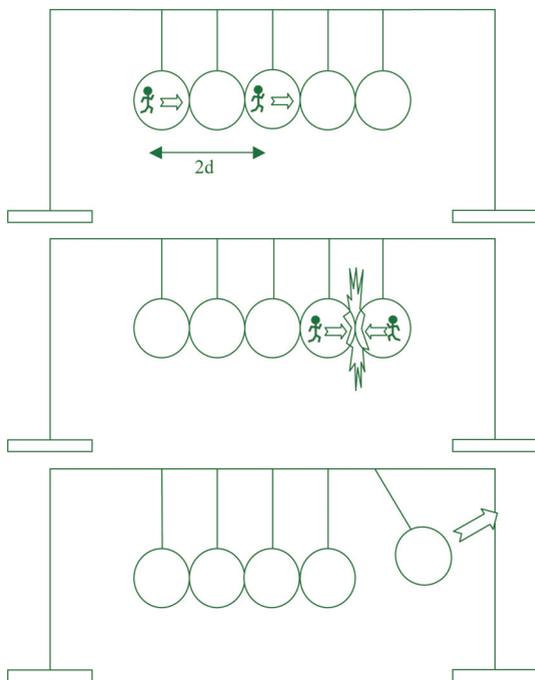
Au vu des résultats obtenus, il semble que l'onde sonore soit confondue avec l'onde de choc. On assimile donc l'onde de choc à une vibration locale du matériau qui se transmet de proche en proche à la vitesse du son.

3. LE PENDULE DE NEWTON EN CLAIR



La boule de gauche est projetée sur l'ensemble.

Au moment du choc, deux ondes sonores se propagent dans des directions opposées à la même vitesse.



L'onde de gauche se réfléchit à l'extrémité gauche puis les deux ondes de choc se déplacent vers l'extrémité opposée où l'onde de droite se réfléchit.

Les deux ondes de choc se rencontrent de nouveau, mais cette fois entre la quatrième et la cinquième boule.

La rencontre des deux ondes de chocs soulève ainsi la dernière boule.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement Mme JANNOT et M. CAILLATE pour leur relecture attentive de cet article.

BIBLIOGRAPHIE ET NETOGRAPHIE

- [1] PÉREZ J.-P. *Mécanique, fondements et applications*. Paris : Dunod, 6^e édition, 2001.
 [2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Module_d%27Young



Julien BARTHES
 Enseignant en CPGE
 Lycée Gustave Eiffel
 Dijon (Côte d'Or)



Pascal LANGLOIS
 Technicien
 Lycée Gustave Eiffel
 Dijon (Côte d'Or)

Nous tenions à signaler que Nicolas BELIAEFF, Baptiste JEANNIN et Romain HEIMLICH, élèves de terminale du lycée Gustave Eiffel, ont participé activement à ce projet.