

## Notice

# Maquette Oscillations forcées : OSCILLOTRIO

Réf. 08015



## Présentation

### 1. Introduction

Cette maquette constitue un ensemble innovant qui permet d'aborder, grâce à trois modules indépendants, successivement :

- les oscillations d'un pendule simple,
- les oscillations d'un pendule pesant,
- les oscillations forcées entre un pendule simple et un pendule pesant couplés.

Elle favorise une approche pédagogique qui privilégie la démarche d'investigation, la confrontation entre le modèle physique et l'expérience.

### 1.1. Le module "pendule simple" (fil + boule)

Il permet d'introduire la notion de pendule simple.

Il permet de montrer l'influence ou non de grandeurs physiques sur la période des oscillations, telles que :

- la longueur du fil
- la masse de l'objet
- l'amplitude des oscillations.

L'expérience consiste à faire osciller le pendule et à mesurer sa période selon les conditions expérimentales choisies : longueur du fil, masse de l'objet, amplitude.

On montre qu'un tel pendule se ramène, dans de très bonnes conditions, à un pendule simple si on assimile l'objet sphérique de centre de gravité G, à un objet ponctuel dont toute la masse serait concentrée en G. Dans ces conditions, dans l'expression de la période du pendule simple :

$$T = 2. \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

On prend pour valeur de l, la longueur OG (O étant le point d'attache du fil, centre de rotation).

D'autre part, on montre que :

- la période d'un pendule simple dépend de :
  - o l'amplitude si celle-ci est supérieure à environ 10°,
  - o la longueur du fil ;
- la période d'un pendule simple ne dépend pas de :
  - o l'amplitude si celle-ci est petite (inférieure à environ 10°),
  - o de la masse de l'objet.

### 1.2. Le module "pendule pesant" (tige + boule)

D'un point de vue pédagogique, il permet de faire la distinction entre pendule simple et pendule pesant par comparaison de la composition physique des deux modules, de distinguer régime périodique et régime pseudopériodique.

Selon le programme du niveau de la classe, il est possible de rechercher un modèle de l'expression de la période du pendule pesant utilisé et de le confronter à l'expérience.

D'un point de vue pratique, l'expérience consiste à faire osciller le pendule et à mesurer sa période selon les conditions expérimentales choisies : masse de la boule, modification de la position de l'axe de rotation de la tige, amplitude.

On montre que la période du pendule pesant dépend de l'amplitude si celle-ci est supérieure à environ 10°.

On apprécie la validité du modèle en comparant les valeurs de la période mesurées par l'expérience avec celles calculées à l'aide du modèle théorique.

Pour confronter théorie et expérience, ***un utilitaire au format xls (EXCEL), téléchargeable sur le site Pierron, pourra être grandement mis à profit.***

### 1.3. Le module "pendule pesant – pendule simple" couplés

L'expérience consiste à faire osciller le pendule pesant qui joue le rôle d'excitateur, le pendule simple qui joue le rôle de résonateur étant initialement au repos.

On observe alors comment le résonateur réagit à l'excitateur, en présence ou non de frottements.

En modifiant la position de l'axe de rotation du pendule pesant et la longueur du fil du pendule simple, on vérifie que le résonateur réagit avec une amplitude d'autant plus importante que les périodes d'oscillations de l'excitateur et du résonateur sont plus voisines.

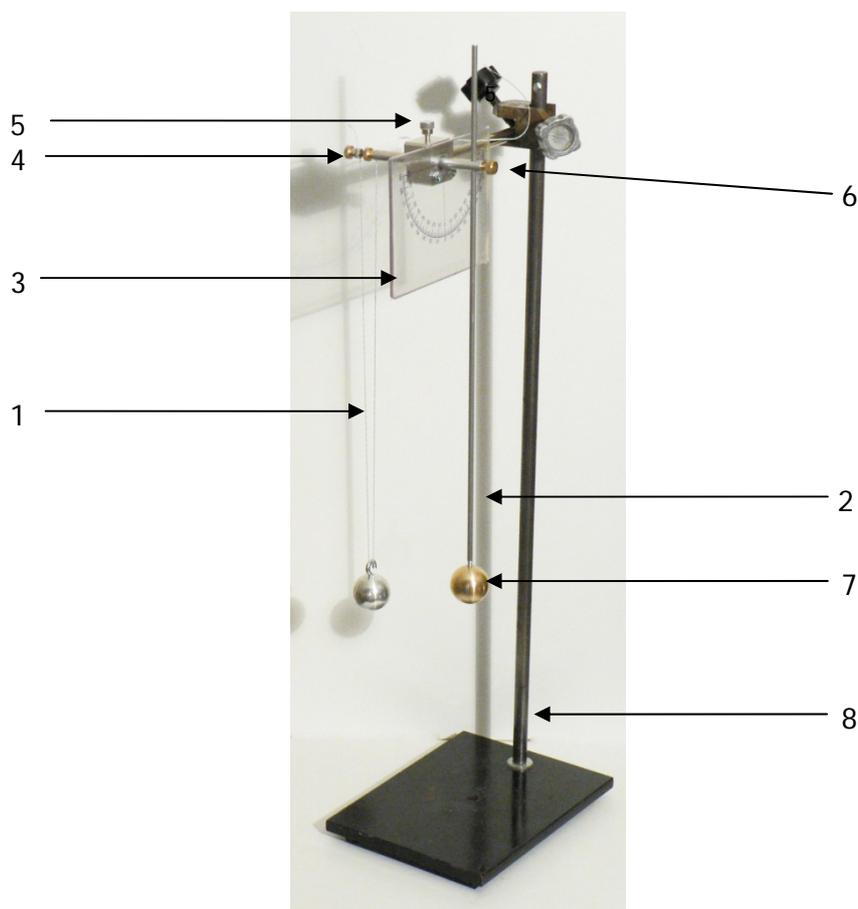
Pour confronter théorie et expérience, ***un utilitaire au format xls (EXCEL), téléchargeable sur le site Pierron, pourra être grandement mis à profit.***

Par ailleurs, si on amortit les oscillations du résonateur dans un fluide (cuve contenant de l'eau), on observe que l'amplitude des oscillations du résonateur diminue.

## 2. Contenu de l'emballage

- Une maquette, boules à crochet en laiton ( $\varnothing$  30 mm, 116 g sans crochet ;  $\varnothing$  20 mm, 34 g sans crochet) ; boule en aluminium à crochet ( $\varnothing$  30 mm, 40 g sans crochet), un passe-fil.
- Une notice

## Présentation



- (1) : Pendule simple (fil + boule)  
 (2) : Pendule pesant (tige + boule)  
 (3) : Support avec rapporteur et tige horizontale  
 (4) : Axe de rotation avec vis moletées de réglage du pendule simple et 3 trous pour fils et tige

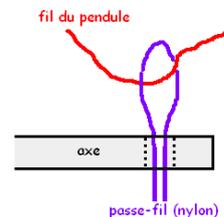
- (5) : Vis de blocage de l'axe de rotation  
 (6) : Vis de réglage du pendule pesant  
 (7) : Boules à crochet ou non (X 3)  
 (8) : Statif (non fourni)

## Montage

- ✓ La maquette est rapidement prête à l'emploi et ne nécessite aucun outil de montage.
- ✓ Fixer la tige horizontale du rapporteur (3) au statif (8) grâce à une noix de serrage (non fournie), de façon à ce que le rapporteur soit vertical (le pendule simple ci-après peut aider à cela).
- ✓ Pendule simple (1) :

De façon classique : placer une boule à crochet (7) à l'extrémité du fil en boucle ; passer l'autre extrémité du fil dans le trou de l'axe de rotation (4) prévu à cet effet ; bloquer le fil à la longueur voulue grâce à la vis moletée.

Le passage du fil dans le trou est facilité par l'utilisation du passe-fil (voir schéma ci-contre) : passer le fil nylon (passe-fil) au travers du trou de l'axe de rotation de façon à faire une boucle ; passer le fil du pendule dans la boucle ; tirer le passe-fil vers le bas de façon à faire passer le fil du pendule au travers du trou de l'axe.



*Une spécificité de ce dispositif est d'éliminer les oscillations en "oblique" gênantes que l'on peut observer parfois lors des oscillations du pendule simple. Pour cela, on passe le fil au travers des deux trous prévus à cet effet (voir photo page 3) de façon à former un V. Une extrémité du fil est alors bloquée grâce à la vis moletée ; l'autre extrémité est bloquée à la longueur de fil voulue à l'aide de l'autre vis moletée.*

- ✓ Pendule pesant (2) : visser une boule sans crochet (7) à l'extrémité fileté de la tige ; passer l'autre extrémité de la tige dans le trou de l'axe de rotation (4) prévu à cet effet ; bloquer la tige à la longueur voulue en serrant la vis de réglage (6).
- ✓ Selon l'utilisation du dispositif, on peut bloquer la rotation de l'axe (4) en serrant la vis (5) : étude du pendule simple seul.

## Utilisation

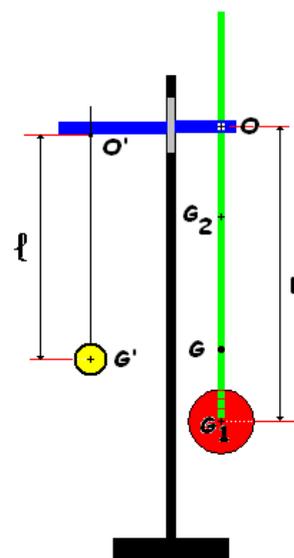
### 1. Protocole expérimental

#### 1.1. Matériel nécessaire

- Dispositif "Maquette OscilloTRio" *réf. 08015*
- Statif *ref 00035* (non fourni)
- Noix double *ref. 00165* (non fourni)
- Chronomètre *ref. 12823* (non fourni)
- Mètre ruban acier *ref. 00820* (non fourni)
- Balance *ref. 06037* (non fournie)

#### 1.2. Mode opératoire commun à toutes les expériences

- Vérifier que le dispositif est vertical et que le rapporteur est bien positionné. Dans ces conditions, l'axe  $0^\circ$  est vertical, et par suite, l'axe  $90^\circ$ - $90^\circ$  est horizontal.
- Selon le module expérimental utilisé, il convient de déterminer précisément les caractéristiques utiles à l'étude, à savoir :
  - les masses des boules avec crochet ou non, selon le cas : par pesée à l'aide d'une balance
  - la longueur  $l = O'G'$ , à l'aide d'un mètre : distance entre l'axe de rotation (ramené au point  $O'$ ) et le centre de gravité  $G'$  de la boule dans le modèle du pendule simple
  - la longueur inférieure ( $L = OG_1$ ) de la tige du pendule pesant, à l'aide d'un mètre : distance entre l'axe de rotation (ramené au point  $O$ ) et le centre de gravité  $G_1$  de la boule dans le modèle du pendule pesant



- Quel que soit le module expérimental utilisé, il convient de déterminer la valeur de la période du pendule, avec une bonne précision. Pour cela, lorsque cela est possible (faible amortissement) procéder comme suit :
  - écarter le pendule de sa position d'équilibre d'un certain angle,
  - le lâcher sans à-coups (dans le cas du pendule simple, le laisser osciller deux ou trois fois pour s'assurer que le plan d'oscillation est parallèle au plan du rapporteur)
  - déclencher le chronomètre lors du passage du pendule par sa position d'équilibre,
  - mesurer la durée de plusieurs oscillations : une dizaine convient le plus souvent ;
  - en déduire la valeur de la période du pendule dans les conditions choisies,
  - refaire plusieurs séries de mesures dans des conditions identiques : trois paraît un minimum convenable. Un écart relativement important sur la durée est le signe d'une erreur de comptage du nombre d'oscillations, erreur fréquente chez les élèves.
 La valeur de la période qui sera retenue, correspond à la moyenne des "bonnes" valeurs.

**Remarque importante :** Dans le cas où l'oscillateur est notablement amorti (pendule simple pour de grandes amplitudes ; pendule pesant), cette démarche n'est plus possible : l'amplitude diminue plus ou moins rapidement. Le nombre d'oscillations utilisables est limité et la précision des mesures en découle.

On est alors dans le cas d'un oscillateur plus ou moins amorti où il est alors intéressant de montrer que l'on peut assimiler période et pseudo-période à condition que l'amortissement soit faible.

### 1.3. Incertitudes de mesures

Les incertitudes de mesure portent sur la mesure de la période des oscillations et sur la mesure des longueurs  $l$  ( $l = O'G'$ ) et  $L$  ( $L = OG_1$ ).

La méthode proposée précédemment réduit notablement l'incertitude absolue sur la mesure de la période.

La mesure des longueurs  $l$  et  $L$  sont tributaires de l'appréciation de la position des centres de gravité de chacune des boules utilisées.

## 2. Module pendule simple

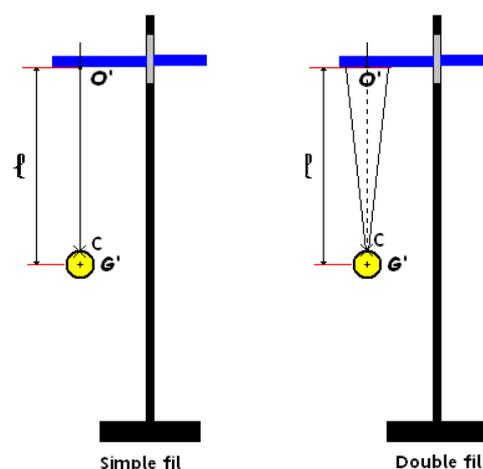
### 2.1. Aspect pratique

- Le pendule pesant n'a pas lieu d'être présent dans cette partie.
- On utilise le fil et l'une des 3 boules à crochet, au choix.
- Comme déjà indiqué précédemment (§ Montage), le module "pendule simple" peut être utilisé de deux façons :
  - o de façon classique : avec un fil ; utiliser le trou de l'axe de rotation le plus près du rapporteur.
  - o de façon "spécifique" : avec un double fil ; utiliser les deux trous de l'axe de rotation ; l'intérêt de ce système est d'éliminer les oscillations "obliques" que l'on peut rencontrer occasionnellement.

Ainsi dans le cas d'un lâcher oblique, il suffit de laisser osciller le pendule deux ou trois fois pour observer que son plan d'oscillation se positionne tout seul convenablement : parallèle au plan du rapporteur. D'où un confort expérimental non négligeable.

De plus, ce système diminue l'erreur de parallaxe lors de la mesure de l'amplitude sur le rapporteur : la lecture est bonne lorsqu'on ne voit qu'un seul fil en regardant la graduation du rapport. Si on est mal placé, on en verra deux.

- Une fois l'ensemble immobile en position verticale, il convient de bloquer l'axe de rotation (4) à l'aide de la vis de serrage (5).



## 2.2. Recherche du modèle de pendule simple

Il s'agit de montrer comment on peut appliquer le modèle de pendule simple au pendule expérimental. Par exemple, on prend une longueur de fil telle que  $O'C = 40,0$  cm et la boule en laiton avec crochet ( $\varnothing 30$  mm).

En utilisant le mode opératoire §1.2., on mesure la période  $T_{\text{exp}}$  du pendule dans le cas de faibles amplitudes ( $10^\circ$ ).

Si on compare la valeur expérimentale avec celle calculée à l'aide de la formule du pendule simple où

$l = O'C$  :

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

L'écart relatif expérience-théorie est environ de 3%.

Si on prend pour valeur de  $l$ , la distance entre le centre de gravité  $G'$  de l'objet et l'axe de rotation  $O'$ , l'écart relatif exp/théorie est alors minime (inférieur à 1%).

Donc, on approche d'autant plus le modèle du pendule simple en assimilant l'objet à une masse ponctuelle placée au centre de gravité de l'objet.

Par la suite, on prendra pour valeur de  $l$ , la distance  $O'G'$  entre le centre de gravité  $G'$  de la boule et le centre de rotation  $O'$ .

## 2.3. Loi d'isochronisme des petites oscillations

Dans ces expériences, on se propose de savoir si l'amplitude a une influence sur la période du pendule, pour des valeurs inférieures ou égales à  $10^\circ$ , "petites amplitudes".

Par exemple, on prend une longueur de fil telle que  $l = 40,0$  cm et la boule en laiton ( $\varnothing 30$  mm).

En utilisant le mode opératoire §1.2., on mesure la période  $T_{\text{exp}}$  du pendule dans le cas de faibles amplitudes :  $10^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $4^\circ$ .

On vérifie que pour de faibles amplitudes, comprises entre  $0^\circ$  et  $10^\circ$  environ, la période du pendule ne dépend pas de l'amplitude. Ce qui constitue la loi d'isochronisme des petites oscillations.

On remarque de plus que les oscillations sont très faiblement amorties.

## 2.4. Influence de l'amplitude, grandes amplitudes, sur la période

Dans ces expériences, on se propose de savoir si l'amplitude a une influence sur la période du pendule, pour des valeurs supérieures à  $10^\circ$ , "grandes amplitudes".

Par exemple, on prend une longueur de fil telle que  $l = 40,0$  cm et la boule en laiton ( $\varnothing 30$  mm).

Dans ce cas, selon les conditions choisies (masse, amplitude), il faut tenir compte de l'amortissement des oscillations et limiter le nombre d'oscillations pour mesurer la période (plus précisément la pseudo-période) ; ce qui rend moins précis la démarche.

Il est conseillé, si possible, de mettre à profit l'expérience en faisant une acquisition vidéo et exploiter celle-ci pour mesurer la période avec une meilleure précision.

On constate que pour des amplitudes comprises entre  $65^\circ$  et  $40^\circ$ , l'écart relatif entre les valeurs extrêmes de la période peut atteindre 5%.

On vérifie alors que l'expression de la période donnée pour des petites oscillations n'est plus valable ici. On doit tenir compte de l'amplitude.

On vérifie que la relation  $T = T_0 (1 + \theta_m^2/16)$  rend alors compte dans de très bonnes conditions de l'expérience, où  $\theta_m$  représente la valeur de l'amplitude.

## 2.5. Influence de la masse de l'objet sur la période

Dans ces expériences, on se propose de savoir si la masse de l'objet a une influence sur la période du pendule.

Par exemple, on prend une longueur de fil telle que  $l = 40,0$  cm.

En utilisant le mode opératoire §1.2., on mesure la période  $T_{\text{exp}}$  du pendule pour de faibles amplitudes ( $10^\circ$ ), dans le cas où :

- on utilise la boule en laiton ( $\varnothing$  30 mm)
- on utilise la boule en aluminium ( $\varnothing$  30 mm).

Avec le matériel utilisé, il suffit de changer une boule par une autre, sans toucher à la longueur du fil.

Le choix de boules de même diamètre contribue à ce qu'un seul paramètre soit modifié : la masse. On vérifie expérimentalement que la masse de l'objet n'a pas d'influence sur la valeur de la période du pendule.

## 2.6 Influence de la longueur du fil du pendule sur la période

Dans ces expériences, on se propose de savoir si la longueur du fil a une influence sur la période du pendule.

Par exemple, on utilise la boule en laiton ( $\varnothing$  30 mm).

En utilisant le mode opératoire §1.2., on mesure la période  $T_{\text{exp}}$  du pendule pour de faibles amplitudes ( $10^\circ$ ), dans le cas où :

- la longueur du fil est de 40,0 cm ;
- la longueur du fil est de 20,0 cm.

On vérifie expérimentalement que la longueur  $l$  du fil modifie la valeur de la période du pendule. Lorsque la longueur du fil est divisée par 2, la période diminue d'un facteur de  $\sqrt{2}$ .

## 3. Module pendule pesant

### 3.1. Aspect pratique

- Le module "pendule simple" n'a pas d'être présent dans cette partie.
- On utilise la tige filetée et l'une des 3 boules sans crochet, au choix.
- La vis (5) est desserrée de façon à laisser libre rotation à l'axe (4).

### 3.2. Recherche d'un modèle de la période du pendule pesant

Le pendule pesant est composé de deux éléments :

- une boule de masse  $M_1$ , assimilée à une sphère de rayon  $R$ , de centre de gravité  $G_1$
- une tige cylindrique  $AB$  de masse  $M_2$ , assimilée à une barre de longueur  $AB$ , de centre de gravité  $G_2$ .
- Le modèle du pendule composé utilisé sera donc l'ensemble sphère-barre.

L'ensemble oscille autour d'un axe de rotation ( $\Delta$ ) qui sera par la suite ramené au point  $O$  (par abus de langage : "axe  $O$ ").

#### 3.2.1. Expression de la période $T$ du pendule pesant

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{J_{/O}}{M \cdot g \cdot a}}$$

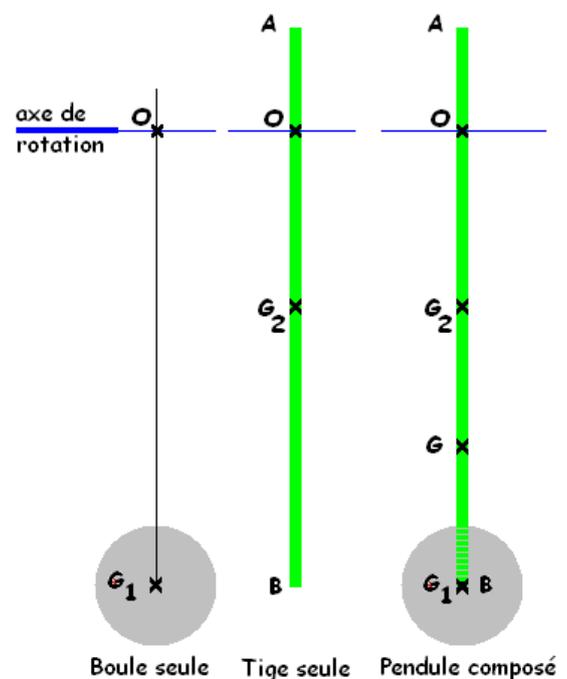
où

- o  $J_{/O}$  représente le moment d'inertie du pendule par rapport à l'axe de rotation  $O$ , soit la somme des moments d'inertie de la boule et de la barre :

$$J_{/O} = J_{1/O} + J_{2/O}$$

- o  $M$  : la masse totale du pendule, soit  $M = M_1 + M_2$
- o  $a$  : la distance du centre de gravité  $G$  du pendule à l'axe de rotation, soit  $a = OG$ .

Il reste alors à expliciter chacun de ces termes.



### 3.2.2. Expression du moment d'inertie de la boule par rapport à l'axe de rotation $O$

Par application du théorème de Huygens, on a :

$$J_{1/O} = 2/5 M_1 R^2 + M_1 OG_1^2$$

### 3.2.3. Expression du moment d'inertie de la barre par rapport à l'axe de rotation $O$

Par application du théorème de Huygens, on a :

$$J_{2/O} = M_2 AB^2 / 12 + M_2 OG_2^2$$

### 3.2.4. Expression de $a = OG$

Il est commode ici de repérer le centre de gravité  $G$  du pendule composé par rapport à  $G_1$ , en considérant  $G$  comme le barycentre de  $G_1$  et  $G_2$ . On a alors :

$$GG_1 = \frac{M_2 \cdot G_1 G_2}{M_1 + M_2}$$

avec ici,  $G_1 G_2 = AB/2$  et en notant  $OG_1 = L$ , on a finalement :

$$a = OG = OG_1 - GG_1$$

$$a = L - \frac{M_2 \cdot AB}{2(M_1 + M_2)}$$

### 3.2.5. Conséquence

La recherche du modèle présente un intérêt pédagogique certain dans la mesure où il s'agit d'un réinvestissement de notions qui correspondent au niveau du programme de la classe. Cependant, l'aspect calculatoire à partir des données expérimentales peut s'avérer lourd.

Aussi, un utilitaire sous la forme d'un fichier xls (Excel) de 3 feuilles peut être largement mis à profit. Cet utilitaire est téléchargeable sur le site Pierron.

Il suffit de rentrer les caractéristiques du pendule pesant pour avoir la valeur théorique de la période dans le cas des petites oscillations et aussi dans le cas des oscillations de grandes amplitudes (voir utilitaire §3.5. ci-après).

Cet utilitaire permet de plus de connaître la longueur du pendule simple isochrone du pendule pesant, indication intéressante dans la partie 4, pour l'étude des oscillations forcées.

## 3.3. Influence de l'amplitude

Dans ces expériences, on se propose de savoir si l'amplitude a une influence sur la période du pendule. La démarche est semblable à celle du pendule simple (§2.3. et §2.4.)

- On a ici intérêt à choisir des conditions pour lesquelles l'amortissement du pendule pesant peut être considérée comme faible : pendule pesant avec la masse en laiton ( $\varnothing$  30 mm), longueur  $L$  "grande".

Par exemple, on prend la boule en laiton ( $\varnothing$  30mm) et une longueur inférieure de la tige telle que  $L = 35$  cm. On choisira toujours une longueur  $L$  de façon à ce que le centre de gravité du pendule soit au-dessous de l'axe de rotation, ce qui donne la condition :  $L > G_1 G$ .

On vérifie que :

- Pour de faibles amplitudes, comprises entre  $0^\circ$  et  $10^\circ$  environ, la période du pendule ne dépend pas de l'amplitude. Ce qui constitue la loi d'isochronisme des petites oscillations
- Pour des "grandes" amplitudes, l'expression de la période donnée pour des petites oscillations n'est plus valable ici. On doit tenir compte de l'amplitude.

On vérifie que la relation  $T = T_0 (1 + \theta_m^2 / 16)$  rend alors compte dans de bonnes conditions de l'expérience, où  $\theta_m$  représente la valeur de l'amplitude.

- Les autres situations (masse "faible" et/ou  $L$  "faible") peuvent être mises à profit pour mettre en évidence les différents régimes d'amortissement, et comparer la valeur de la pseudo-période avec celle de la période selon l'amortissement.

## 3.4. Confrontation Modèle et Expérience

Dans ces expériences, on se propose de comparer les valeurs de la période obtenues par l'expérience avec celles calculées à partir du modèle choisi (§ 3.2.) pour décrire le pendule pesant.

Par exemple, on prend la boule en laiton ( $\varnothing$  30mm) et une longueur inférieure de la tige  $L = 35$  cm. En utilisant le mode opératoire §1.2., on mesure la période (ou la pseudo-période)  $T_{exp}$  du pendule pesant pour une amplitude donnée. Il suffit alors de comparer la valeur de  $T_{exp}$  avec celle calculée compte tenu ou non de l'amplitude.

L'exploitation des mesures peut être mise à profit à deux niveaux selon le cas :

- confrontation modèle et expérience,
- comparaison période et pseudo-période.

Comme il a été indiqué auparavant, l'utilitaire prévu à cet effet, sous la forme d'un fichier xls (Excel), peut être largement mis à profit. Cet utilitaire est téléchargeable sur le site Pierron. Son intérêt et son utilisation sont décrits au paragraphe suivant.

### 3.5. L'utilitaire xls (tableur Excel)

On réalise une étude de la période du pendule pesant : choix d'une boule, tige, choix d'une longueur inférieure de la tige  $L$ .

On détermine les caractéristiques de ce pendule pesant nécessaires au calcul de la période que sont :  $M_1$ ,  $R$ ,  $M_2$ ,  $AB$ ,  $L$ ,  $\theta$ . Ces caractéristiques sont entrées dans les cases correspondantes du tableur.

L'utilitaire comporte trois feuilles.

#### 3.5.1. La feuille "Simple-Composé"

Elle répond directement à l'expérience.

Entrer les 6 données numériques dans les cases en jaune.

CARACTERISTIQUES DU PENDULE PESANT		Entrées	
MASSE DE LA BOULE	$M_1$	118,0 g	←
RAYON DE LA BOULE	$R$	1,5 cm	←
MASSE DE LA TIGE	$M_2$	28,0 g	←
LONGUEUR DE LA TIGE	$AB$	40,0 cm	←
LONGUEUR INFÉRIEURE DE LA TIGE DU PENDULE COMPOSÉ	$L = O'G_1$	28,0 cm	←
	Vérification	28 cm	
LONGUEUR DU FIL DU PENDULE SIMPLE	$l = O'G'$	27,8 cm	
PERIODE DU PENDULE	$T$	1,059 S	
CORRECTION D'AMPLITUDE (en °) si supérieure à 10°		18°	
		1,065 S	

L'utilitaire calcule :

- la valeur de la période du pendule pesant dans le modèle § 3.2., selon l'amplitude (petites et/ou grandes amplitudes)
- la longueur du pendule simple synchrone du pendule pesant.

### 3.4.2. La feuille "Modèle"

Elle détaille les diverses grandeurs qui caractérisent le pendule pesant, notamment le moment d'inertie de la boule, de la barre, de l'ensemble, la position du centre d'inertie ( $a = OG$ ).

MODELE DU PENDULE PESANT						
Boule (masse $M_1$ ; centre d'inertie $G_1$ )				Tige (masse $M_2$ ; centre d'inertie $G_2$ )		
Rayon R (cm)	Masse $M_1$ (g)	Moment d'inertie / à l'axe O $J_1/O$ ( $\text{kg.m}^2$ )	Distance $OG_1$ (cm)	Longueur L (cm)	Masse $M_2$ (g)	Moment d'inertie / à l'axe O $J_2/O$ ( $\text{kg.m}^2$ )
		$J_1/O = 2/5 * M_1 * R^2 + M_1 * L^2$	L			$J_2/O = M_2 * L_o^2 / 12 + M_2 * (L_o/2 - L)^2$
1,5	118,0	9,26E-03	28,0	40,0	28,0	5,53E-04
Pendule pesant ( $M = M_1 + M_2$ ; centre d'inertie $G$ )				Longueur du pendule simple synchrone du pendule pesant		
Centre d'inertie		Moment d'inertie / à l'axe O $J/O$ ( $\text{kg.m}^2$ )	Période (s)	l (cm)		
$G_1G$ (cm)	$OG$ (cm) = a	$J/O = J_1/O + J_2/O$	$T = 2 \cdot \pi \cdot \text{racine}(J/mga)$			
3,8	24,2	9,81E-03	1,059	27,8		

### 3.4.3. La feuille "Correspondance L-l"

Pour un pendule pesant donné (feuille 1) et selon le choix de la longueur L de la partie inférieure de la barre, cette feuille indique la valeur théorique de la période du pendule pesant pour de petites amplitudes et la longueur l du pendule simple synchrone correspondant.

Cette feuille présente un intérêt pour prévoir et donc choisir les conditions qui sont les plus favorables à l'expérimentation : une "grande" période est plus commode à mesurer. Par suite, on pourra choisir une valeur de L plutôt qu'une autre.

Cette feuille trouve aussi un prolongement important dans l'étude des oscillations forcées.

CORRESPONDANCE entre L et l					
L (cm)	T(s)	l(cm)	L (cm)	T(s)	l(cm)
1,0	FAUX	0,0	21,0	0,95	22,3
2,0	FAUX	0,0	22,0	0,96	23,0
3,0	FAUX	0,0	23,0	0,98	23,8
4,0	4,65	537,9	24,0	0,99	24,6
5,0	1,76	77,1	25,0	1,01	25,4
6,0	1,32	43,0	26,0	1,03	26,2
7,0	1,12	31,1	27,0	1,04	27,0
8,0	1,01	25,4	28,0	1,06	27,8
9,0	0,95	22,3	29,0	1,07	28,7
10,0	0,91	20,5	30,0	1,09	29,6
11,0	0,89	19,5	31,0	1,11	30,4
12,0	0,87	19,0	32,0	1,12	31,3
13,0	0,87	18,8	33,0	1,14	32,2
14,0	0,87	18,9	34,0	1,15	33,1
15,0	0,88	19,1	35,0	1,17	34,0
16,0	0,88	19,4	36,0	1,19	34,9
17,0	0,89	19,9	37,0	1,20	35,9
18,0	0,91	20,4	38,0	1,22	36,8
19,0	0,92	21,0	39,0	1,23	37,7
20,0	0,93	21,6	40,0	1,25	38,6

Exemple

## 4. Module pendule simple – pendule pesant couplés

### 4.1. Aspect pratique

- On utilise le module "pendule pesant- pendule simple" couplés : choix d'un pendule simple, choix d'un pendule pesant. Il est préférable d'utiliser le pendule simple avec le fil en boucle pour éliminer toute perturbation oblique des oscillations.
- Le pendule pesant jouant le rôle d'excitateur, on a intérêt à choisir des situations où ses oscillations sont peu amorties pour observer les effets sur une plus grande durée.

**A noter que la nature du couplage est tel, qu'il est possible, en présence d'amortissement notable, de poursuivre et prolonger l'expérience en relançant à volonté l'excitateur.**

- La démarche peut être purement empirique : recherche par tâtonnements de conditions expérimentales remarquables.

- La démarche peut être orientée en utilisant l'utilitaire pour mettre directement l'accent sur les situations expérimentales remarquables.

## 4.2. Oscillations forcées sans frottement notable

Dans ces expériences, on se propose de mettre en évidence le phénomène d'oscillations forcées. Pour cela, on choisit un pendule pesant (boule, longueur  $L$ ), un pendule simple (boule, longueur  $l$ ). Puis on fait osciller le pendule pesant, le pendule simple étant initialement au repos. Le pendule pesant joue alors le rôle d'excitateur et le pendule simple joue le rôle de résonateur.

Il s'agit alors d'observer comment se comporte le résonateur : amplitude de ses oscillateurs selon ses caractéristiques comparativement à celles de l'excitateur. En faisant varier la longueur du pendule simple, on recherche à quelle condition l'amplitude du résonateur devient la plus importante : on se place alors à la résonance.

Par exemple, on prend pour :

- le pendule pesant : boule en laiton (masse 116 g),  $L = 28$  cm, amplitude  $20^\circ$
- le pendule simple : boule en laiton (masse 36 g),  $l = 15$  cm.

On observe que l'amplitude du résonateur est minime.

On modifie la longueur du pendule simple pour observer l'évolution des oscillations forcées. On observe que pour une longueur  $l$  d'environ 28 cm, compte tenu des incertitudes de mesures, l'amplitude devient importante : on approche alors la résonance.

Si on utilise l'utilitaire §3.4 modélisant la situation, il indique que dans ce cas, on doit prendre  $l = 27,8$  cm pour une tige de masse 14 g.

On observe que l'amplitude du résonateur est d'autant plus grande que sa période d'oscillation est plus proche de celle du résonateur.

### Remarques

- Il est possible d'inverser les rôles excitateur et résonateur. Dans ce cas, le pendule simple est mis en mouvement alors que le pendule pesant est initialement immobile.  
 Dans l'exemple précédent, on observe qu'une "petite" masse peut mettre en mouvement une plus "grande" : l'amplitude obtenue est cependant moins importante.
- Il est possible de choisir les boules de chacun des pendules comme on le souhaite. Le meilleur résultat obtenu est celui pour lequel l'excitateur a la masse la plus grande et le résonateur a la masse la plus petite.

## 4.3. Oscillations forcées avec frottement

Dans ces expériences, on se propose de mettre en évidence comment évolue le phénomène d'oscillations forcées en présence de frottement. Pour cela, il suffit de :

- reprendre l'expérience précédente
- se placer directement à la résonance
- de plonger plus ou moins la boule du résonateur dans une cuve contenant de l'eau.

On observe alors que l'amplitude du résonateur est moins importante si les frottements sont plus grands.

## Entretien, garantie et dépannage

### 1. Entretien

Aucun entretien particulier n'est nécessaire au fonctionnement de votre appareil.

Toutes les opérations de maintenance ou de réparation doivent être réalisées par PIERRON EDUCATION. En cas de problème, n'hésitez pas à contacter le Service Clients.

### 2. Garantie

Les matériels livrés par PIERRON sont garantis, à compter de leur livraison, contre tous défauts ou vices cachés du matériel vendu. Cette garantie est valable pour une durée de 2 ans après livraison et se limite à la réparation ou au remplacement du matériel défectueux. La garantie ne pourra être accordée en cas d'avarie résultant d'une utilisation incorrecte du matériel.

Sont exclus de cette garantie : la verrerie de laboratoire, les lampes, fusibles, tubes à vide, produits, pièces d'usure, matériel informatique et multimédia.

Certains matériels peuvent avoir une garantie inférieure à 2 ans, dans ce cas, la garantie spécifique est indiquée sur le catalogue ou document publicitaire.

Le retour de matériel sous garantie doit avoir notre accord écrit.

Vices apparents : nous ne pourrions admettre de réclamation qui ne nous serait pas parvenue dans un délai de quinze jours après livraison au maximum. A l'export, ce délai est porté à un mois.

La garantie ne s'appliquera pas lorsqu'une réparation ou intervention par une personne extérieure à notre Société aura été constatée.

