



Séquence n°4 La chaîne de mesure

Mesures de période à l'aide d'un capteur optique



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°1 : La chaîne de mesure



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	Le modèle du pendule simple.....	2
ACTIVITÉ 2 :	Mesure de la période à l'aide d'une chaîne de mesure.....	4
ACTIVITÉ 3 :	Recherche des limites du modèle du pendule simple	7

Introduction :

Dans l'industrie, la mesure du temps entre deux événements mécaniques est indispensable pour contrôler le fonctionnement des machines. Par exemple, dans les moteurs ou les turbines, on doit surveiller la vitesse de rotation afin de garantir la sécurité et la performance du système. Une méthode très répandue consiste à utiliser un faisceau lumineux et un capteur de lumière comme une photorésistance. Une petite pastille réfléchissante collée sur l'arbre de la machine tournante renvoie la lumière vers la photorésistance à chaque tour. La durée entre deux maxima détectés successifs correspond alors à la période du mouvement, ce qui permet ensuite d'en déduire la fréquence ou la vitesse de rotation.

Cette méthode présente plusieurs avantages : elle est sans contact, donc elle ne perturbe pas le mouvement, et elle permet d'obtenir des mesures rapides, répétables et précises. C'est ce type de principe que l'on retrouve dans de nombreux systèmes industriels de contrôle et de diagnostic.

Dans cette activité, nous allons étudier un cas concret simplifié inspiré de ces applications : la mesure de la période d'oscillation d'un pendule simple. La première partie consiste à valider le modèle du pendule simple pour les petits angles mais en mesurant la période avec un chronomètre. La deuxième activité est consacrée à la chaîne de mesure utilisant un capteur de lumière destiné à améliorer la qualité de la mesure. L'utilisation de cette chaîne de mesure dans la dernière activité permettra d'apprécier les limites du modèle physique du pendule simple.

ACTIVITÉ 1 : Le modèle du pendule simple

Partie 1 : Le modèle en détail

DOCUMENT 1 : Le pendule simple

Un pendule simple est constitué d'un solide de masse m de petite taille suspendu à un fil de masse négligeable et de longueur très supérieure aux dimensions du solide.

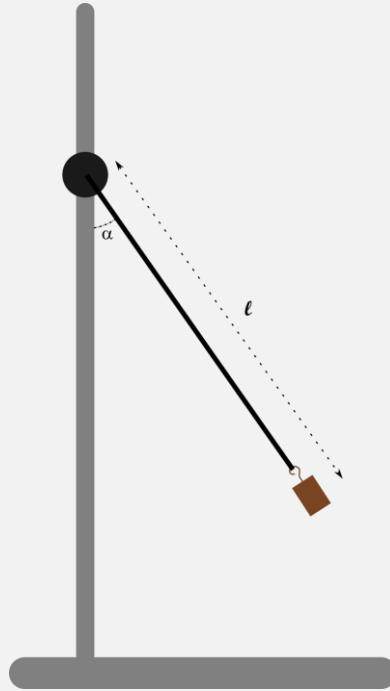


Figure 1 : le pendule simple

Écarté de sa position d'équilibre d'un angle α , un pendule simple oscille périodiquement après avoir été lâché. Pour des petits angles d'oscillation inférieurs à 20° , la période des oscillations, correspondant à un aller-retour du solide, s'exprime par la relation :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Incertitude-type de la période T :

$$u(T) = \frac{T}{2} \cdot \frac{\Delta\ell}{\ell\sqrt{3}}$$

Données :

Intensité de la pesanteur sur Terre : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Longueur ℓ en mètre (m)

Période T en seconde (s)

$\Delta\ell$: demi-étendue des valeurs possibles la longueur ℓ .

Mettre en place le pendule avec une longueur ℓ du fil environ égal à 20 cm.

1. Mesurer le plus soigneusement possible la longueur du pendule.
2. Calculer la valeur de la période du pendule, notée $T_{\text{modél}}$ à l'aide du modèle de pendule simple.



3. De quelle grandeur mesurée dépend l'incertitude-type de la période du modèle ? Expliquer l'origine de cette source d'erreur.
4. Estimer la demi-étendue des valeurs possibles de cette grandeur mesurée.
5. Calculer l'incertitude-type $u(T_{\text{modél}})$ associée à la période.

Partie 2 : Mesure de la période d'un pendule simple à l'aide d'un chronomètre

DOCUMENT 2 : Evaluation de type de A de l'incertitude-type

L'évaluation de type A d'une incertitude-type est possible lorsqu'un opérateur effectue plusieurs fois la même mesure (ou plusieurs opérateurs effectuent simultanément la même mesure avec le même matériel) et obtient plusieurs valeurs différentes.

Pour exprimer le résultat de la mesure il faut au préalable calculer la valeur moyenne de la série de n mesures ainsi que l'écart-type expérimental s .

L'incertitude-type de la valeur moyenne \bar{T} est :

$$u(\bar{T}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

DOCUMENT 3 : Comparaison d'un résultat de mesure à une valeur issue d'un modèle

En comparant le résultat de la mesure T_{mes} à la valeur issue d'un modèle T_{mod} on peut soit valider le modèle ou le processus de mesure.

On considérera que le résultat de mesure de la période et la valeur de référence de la période calculée sont compatibles si :

$$|T_{\text{mes}} - T_{\text{mod}}| \leq 2u$$

Avec l'incertitude-type la plus grande parmi $u(T_{\text{mes}})$ et $u(T_{\text{mod}})$

1. En vous appuyant sur la périodicité du mouvement du pendule, proposer une stratégie permettant de minimiser l'incertitude de mesure de la période.
Faire vérifier votre proposition auprès du professeur et réaliser la mesure de période.
2. Réaliser le protocole précédent et regrouper vos résultats dans un tableau.
3. Calculer la valeur moyenne et l'écart type de votre série de mesures.
4. Déterminer l'incertitude-type de la valeur moyenne \bar{T} .
5. En vous appuyant sur le document 3, comparer votre résultat de mesure à la valeur donnée par le modèle. Ces résultats sont-ils compatibles entre eux ?



ACTIVITÉ 2 : Mesure de la période à l'aide d'un capteur optique

Pour tenter de déterminer les limites du modèle physique, on souhaite améliorer le dispositif de mesure à l'aide d'un capteur de lumière

Partie 1 : Etude d'un capteur optique : la photorésistance (LDR)

Avant de mesurer la période de notre pendule à l'aide d'un capteur optique, nous allons étudier son fonctionnement.

1. Prendre la photorésistance et placer un Ohmmètre à ses bornes afin de mesurer sa résistance. Diriger un faisceau LASER sur la photorésistance, que constatez-vous ?

Nous allons maintenant déterminer expérimentalement le lien entre la résistance aux bornes de la photorésistance et son éclairage. Pour cela :

- Fixez le LASER et la photorésistance face à face sur un support stable à environ 20 cm l'un de l'autre ;
- Placez deux polariseurs entre le laser et la LDR (le premier polariseur restera fixe sur 0°) ;
- Mettre le second polariseur sur 0° et le faire tourner de 10° en 10° en prenant soin de mesurer pour chaque angle, la résistance aux bornes de la LDR.
- Refaire la même expérience en plaçant un luxmètre à l'emplacement exact de la LDR afin de mesurer l'éclairage en fonction de l'angle.

Remarque : l'expérience devra se faire dans une pièce très sombre.

2. Réaliser l'expérience et dresser un tableau de mesures.
3. Tracer la courbe représentant la résistance aux bornes de la LDR en fonction de son éclairage.

Partie 2 : Etude d'un conditionneur : le pont diviseur de tension

Maintenant que nous savons que la résistance d'une photorésistance change avec l'éclairage, nous allons exploiter cette propriété pour l'utiliser en tant que capteur optique.

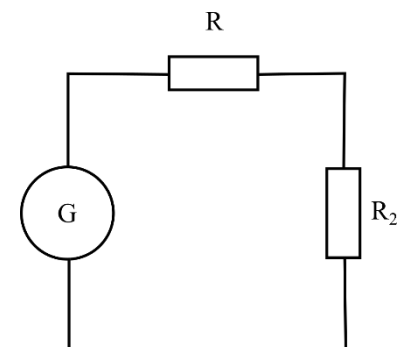
Malheureusement, si l'on connectait la photorésistance directement aux bornes d'une source de tension de 4V, la tension à ses bornes resterait égale à 4V, que le LASER soit présent ou non. La résistance changerait, mais pas la tension.

Pour tenter de remédier à ce problème, nous allons utiliser le pont diviseur de tension ci-contre.

On simule le comportement de la photorésistance par un conducteur ohmique de résistance R.

Tension du générateur $E = 12,0 \text{ V}$

$R = R_1 = 100 \Omega$; $R_2 = 220 \Omega$



1. Réaliser le circuit ci-dessus puis mettre sous tension après vérification du professeur.
2. A l'aide d'un voltmètre, mesurer les tensions aux bornes du générateur et des résistances R et R₂.
3. Changer la résistance R₁ par une résistance $R = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ puis mesurer de nouveau les tensions aux bornes du générateur et des résistances R et R₂.
4. La tension aux bornes du générateur a-t-elle varié ? Comment la tension aux bornes de R et R₂ a-t-elle varié ?
5. Rappeler le lien entre la tension aux bornes du générateur et les tensions U_R et U₂ aux bornes respectives des résistances R et R₂ dans ce circuit.
6. A l'aide de la loi d'ohm et de la loi des mailles, exprimer la tension U_R en fonction de U_G, R et R₂.
7. On souhaite exploiter ce circuit diviseur de tension et remplacer la résistance R par une photorésistance.

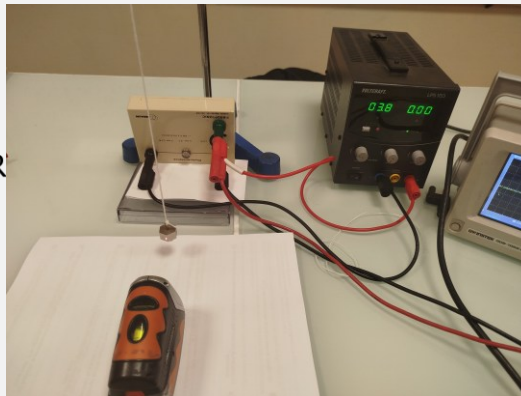
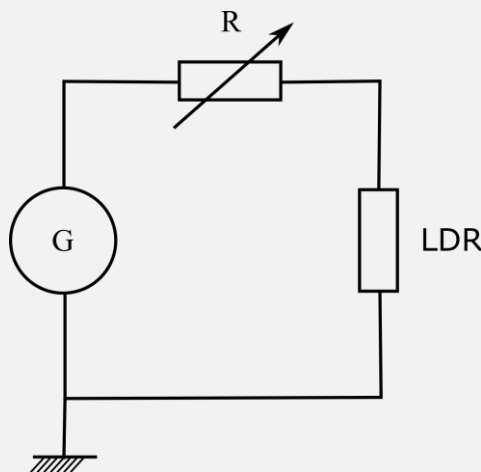
Comparer les valeurs de tension aux bornes de la photorésistance lorsque celle-ci est éclairée puis occultée. Vous détaillerez votre raisonnement en exploitant les résultats de la question 6 et de la question 1 de la partie 1.

Partie 3 : Mesure de la période d'un pendule simple à l'aide de la chaîne de mesure

On se propose d'utiliser une méthode optique pour mesurer la période d'un pendule simple. On réalise une chaîne de mesure constituée de la photorésistance intégrée dans le pont diviseur de tension (voir schéma du document 4).

Par ailleurs vous utiliserez aussi un LASER rouge qu'il faudra diriger sur la photorésistance, une fois le montage terminé.

DOCUMENT 4 : Montage électrique



Réglage de l'alimentation autour de 4V

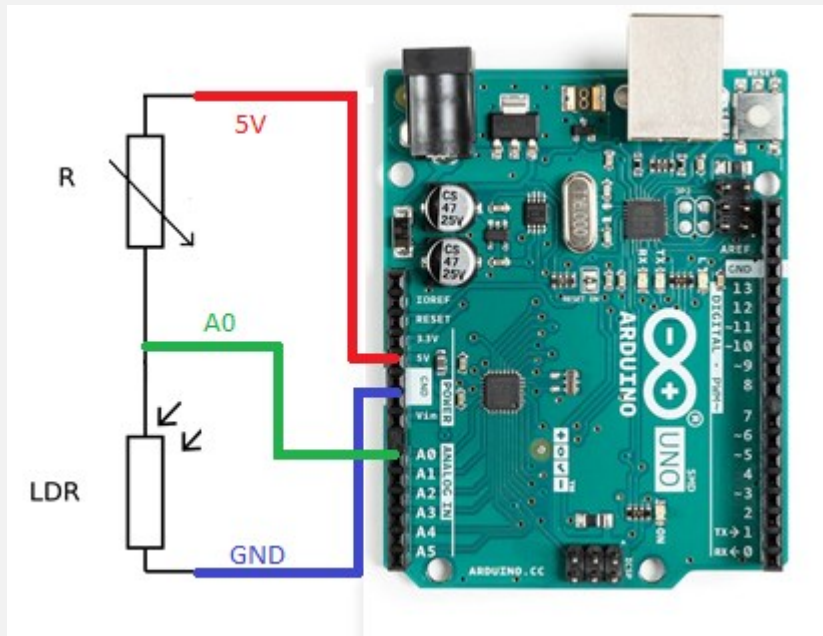
Brancher la voie 1 de l'oscilloscope aux bornes de la photorésistance (LDR).

1. Effectuer le montage du document 4, diriger le LASER vers la photorésistance et brancher une voie d'un oscilloscope aux bornes de la résistance réglable. Après vérification du professeur, mettre le montage sous tension.
2. Vérifier le fonctionnement de ce montage en passant la main entre le laser et la photorésistance. Qu'observez-vous sur l'écran de l'oscilloscope à ce moment ?
3. Déterminer à l'aide de l'oscilloscope la valeur de la tension lorsque le faisceau est sur la photorésistance ($U_{\text{éclairé}}$), puis lorsqu'il est coupé par votre main (U_{obscur}). Calculer la variation de tension ΔU observée.
4. Interpréter cette variation en faisant le lien avec l'évolution de la résistance de la photorésistance.
5. Régler le potentiomètre pour obtenir une variation de 500 mV lorsque le faisceau Laser est coupé.
6. Proposer un protocole vous permettant de mesurer la période d'un pendule simple de longueur 20,0 cm et de masse 50,0 g à l'aide du circuit électrique du document 4.
7. Réaliser ce protocole et mesurer 10 fois la période de ce pendule simple.
8. Exploiter cette série de 10 mesures afin d'exprimer le résultat de mesure par la moyenne de la période et l'incertitude-type associée.
9. Pourquoi peut-on considérer que la valeur moyenne des mesures constitue une valeur de référence ?
10. Vos mesures permettent-elles de valider le modèle de pendule simple ?
11. Comparer l'incertitude-type de cette série de mesures avec celle effectuée avec le chronomètre.

Partie 4 : Amélioration de la mesure à l'aide d'un microcontrôleur

L'oscilloscope nous a permis de mesurer la période grâce à une variation de tension. Le microcontrôleur va nous permettre d'automatiser la mesure de période.

DOCUMENT 5 : Montage avec un microcontrôleur Arduino



Le circuit électrique est alimenté par le microcontrôleur (bornes 5V et GND).

L'entrée analogique A0 permet la mesure de tension aux bornes de la photorésistance (LDR).

Quand le laser éclaire la LDR, sa résistance chute et la tension à ses bornes chute.

A l'inverse, dès que le pendule coupe le faisceau, la résistance de la LDR augmente considérablement, et la tension en A0 augmente et tend vers la tension du générateur (5 V). On dit que la chaîne de mesure est utilisée en tout ou rien (deux états possibles). Le microcontrôleur détecte ces changements d'état et enregistre les dates correspondantes.

DOCUMENT 6 : Protocole expérimental de la mesure de période

- Brancher le microcontrôleur au port USB de votre ordinateur puis télécharger le programme mis à votre disposition ;
- Réaliser le montage du Document 5 ;
- Ouvrir le programme « Mesure_T.ino » puis modifier la valeur seuil afin qu'elle soit en accord avec votre expérience. Choisir le nombre de mesures à réaliser pour le calcul de la valeur moyenne ;
- Ecarter le pendule de sa position d'équilibre de 10° avant de le lâcher ;
- Noter la valeur moyenne de la période et l'écart-type associé.

Pour pouvoir mesurer la période à l'aide de ce montage, nous allons devoir télécharger un programme pour la réalisation de la mesure. A chaque fois que le fil coupe le faisceau lumineux, la variation de tension sera détectée par la chaîne de mesure et la date correspondante sera enregistrée. Le programme s'arrête lorsque 10 périodes sont mesurées et renvoie alors la moyenne des 10 périodes ainsi que l'écart-type de la série de mesure.



1. Expliquer en quoi ce dispositif peut permettre d'améliorer la qualité de mesure de la période.
2. Réaliser le protocole du document 6. Relever la valeur moyenne de la période et l'écart-type associé. Exprimer le résultat de mesure à l'aide de la valeur moyenne et le calcul de l'incertitude-type associée.
3. Vos mesures permettent-elles de valider le modèle de pendule simple ?
4. Comparer la fidélité de mesure des 3 protocoles (mesure avec le chronomètre, mesure avec l'oscilloscope et mesure avec le microcontrôleur) en expliquant clairement votre raisonnement.

ACTIVITÉ 3 : Recherche des limites du modèle du pendule simple

Partie 1 : Influence de l'angle d'oscillation

Dans cette partie, nous allons utiliser le même montage que dans la partie précédente.

On souhaite déterminer la validité du modèle pour des angles d'oscillation α plus grands (voir figure 1). Comme les oscillations sont amorties l'angle change entre la première oscillation et la dernière. On privilégiera ainsi une masse élevée pour le pendule pour favoriser l'inertie et limiter l'influence des frottements de l'air.

On doit augmenter le nombre de mesures pour diminuer l'incertitude-type de la moyenne des valeurs de période mais le limiter tout de même pour ne pas que l'angle d'oscillation change trop entre la première oscillation et la dernière.

Une solution est de réaliser plusieurs séries de 5 oscillations pour chaque angle d'oscillation choisi (à adapter en fonction de la masse du pendule).

On décide de réaliser 5 séries de 5 oscillations pour chaque angle. Le programme renvoie la valeur moyenne de la période pour chaque série de mesures.

1. Expliquer en quoi augmenter le nombre de mesures permet de diminuer l'incertitude-type de la moyenne des valeurs de la période.
2. Dans le programme du microcontrôleur, changer la valeur permettant au programme de faire la moyenne sur 5 oscillations au lieu de 10 et le téléverser dans la carte du microcontrôleur.
3. Réaliser les mesures de période pour les angles définis dans le tableau suivant avec un pendule de 20,0cm et une masse de 50,0g. Compléter le tableau avec les valeurs moyennes de la période pour chaque série.

Angle initial	10°	20°	30°	40°	50°
Série 1					
Série 2					
Série 3					
Série 4					
Série 5					

4. Calculer pour chaque angle, la valeur moyenne de la période, l'écart-type, ainsi que l'incertitude-type.
5. Remplir les deux dernières lignes du tableau.

Rappel : $T = 0,897 \text{ s}$

Angle initial	10°	20°	30°	40°	50°
\bar{T}					
Ecart-type					
$u(\bar{T})$					
$\bar{T} - T_{model}$					
$\frac{ \bar{T} - T_{model} }{u(\bar{T})}$					

6. La valeur moyenne peut-elle constituer la valeur de référence ?
7. Discuter de la validité du modèle.



Partie 2 : Influence de la masse

Dans cette partie, nous allons utiliser le même montage que dans la partie précédente.

Pour nos mesures, nous prendrons comme valeur la moyenne de 5 oscillations pour chaque masse.

1. Dans le programme du microcontrôleur, changer la valeur permettant au programme de faire la moyenne sur 10 oscillations au lieu de 5 et le téléverser dans la carte du microcontrôleur.
2. De la même manière que dans la partie précédente, réaliser un pendule de longueur 20,0 cm, lâché avec une amplitude de 15° environ avec les masses proposées puis remplir le tableau à l'aide des mesures réalisées.

Masse	25g	50g	75g	100g	125g
\bar{T}					
Ecart-type					
$u(\bar{T})$					
$\bar{T} - T_{model}$					
$\frac{ \bar{T} - T_{model} }{u(\bar{T})}$					

3. Conclure sur l'influence de la masse sur la période du pendule.