

Oscillations d'un pendule

THÉMATIQUE

- Oscillateur mécanique.

CONCEPTS OU NOTIONS ABORDÉS

- Oscillateur.
- Période, fréquence.

OBJECTIFS DE FORMATION

- Mesurer la période d'oscillations d'un pendule.
- Mettre en évidence la non-isochronie de ce pendule.

Introduction

Consulter la page éducol associée au thème « [Programmer en physique-chimie](#) ».

Présentation des activités

La variation de la période d'oscillation suivant l'amplitude angulaire du mouvement du pendule est relativement faible (18 % de variation relative par rapport aux petites oscillations si les oscillations se font entre -90° et $+90^\circ$).

Aussi, la mesure de la période des oscillations d'un pendule pesant doit être faite avec suffisamment de précision si l'on veut mettre en évidence la non isochronie de ce pendule.

Nous proposons ici d'utiliser trois types de capteurs présents sur un smartphone afin de mesurer le plus précisément possible la période d'oscillations d'un pendule.

Activité 1 : à l'aide de l'accélération

Il s'agit d'utiliser l'accéléromètre présent dans un smartphone accroché au pendule pour avoir accès à l'accélération de ce dernier dans le référentiel terrestre.

Pistes de validation et d'expérimentation

Si le pendule est à l'arrêt, l'accélération mesurée doit être nulle, sauf pour sa composante verticale (où c'est l'accélération de la pesanteur, $g = 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, qui est mesurée).

Activité 2 : à l'aide de la vitesse

Il s'agit d'utiliser le microphone présent dans un smartphone accroché au pendule pour avoir accès à une mesure de fréquence sonore.

L'onde acoustique sinusoïdale délivrée par un haut-parleur fixe a une fréquence f_e dans le référentiel

du sol, et une fréquence $f_m = f_e \cdot \left(1 + \frac{v_z}{c_s}\right)$ dans le référentiel du smartphone accroché au pendule (où

c_s est la célérité du son et v_z est la projection de la vitesse du smartphone sur un axe smartphone-émetteur).

Les variations de la fréquence f_m par effet Doppler se font au rythme de l'oscillation du pendule.

Pistes de validation et d'expérimentation

Si le pendule est à l'arrêt, la fréquence f_m du son mesurée doit être égale à celle f_e du signal émis par le haut-parleur.

Activité 3 : à l'aide de la mesure de la luminosité

Il s'agit d'utiliser le détecteur de luminosité présent dans le smartphone accroché au pendule quand ce dernier est éclairé par un spot lumineux de telle sorte que la luminosité mesurée varie au rythme de l'oscillation du pendule.

Pistes de validation et d'expérimentation

Si le pendule est à l'arrêt, la luminosité mesurée ne doit pas fluctuer, afin de simplifier la forme du signal recueilli, il est préférable qu'elle varie de façon monotone avec l'angle que fait le pendule avec la verticale.

LOGICIELS UTILISÉS

- Phyphox.
- Regressi.
- Python.

COMPÉTENCES INFORMATIQUES TRAVAILLÉES

- Utiliser une application de récupération des données de capteurs sur smartphone.
- Afficher des courbes expérimentales (tableur Regressi et script python).
- Modéliser des résultats expérimentaux par une fonction théorique (tableur Regressi).

Exemples de contextualisation

Dans les horloges mécaniques, la mesure du temps est effectuée en utilisant un pendule qui oscille avec une fréquence fixe.

De la situation physique au traitement numérique

Un pendule pesant peut être assimilé à un pendule simple constitué d'une masse ponctuelle m en M accrochée en un point fixe O par un fil inextensible de longueur L .

Lorsque le pendule oscille librement, sans frottements, l'angle θ que fait le fil par rapport à la verticale suit l'équation différentielle

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L}\sin(\theta) = 0$$

NB : s'il s'agit d'un pendule pesant de masse m , de moment d'inertie J par rapport à l'axe de rotation, dont le centre d'inertie est à une distance L de O , l'équation est la suivante :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{m \cdot g \cdot L}{J}\sin(\theta) = 0$$

Si l'angle θ est inférieur à $\pi/6$, l'angle θ suit l'équation d'un oscillateur harmonique :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega_0^2 \cdot \theta = 0$$

avec ω_0 pulsation propre de l'oscillateur.

La période propre des oscillations est exprimée en fonction de la pulsation propre par la relation suivante :

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

De façon générale, la solution en est :

$$\theta(t) = \theta_0 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{t}{T} + \varphi\right)$$

où T est la période des oscillations, proche de T_0 .

Ce que les élèves doivent retenir

Un pendule est un oscillateur. Lorsque l'amplitude des oscillations est faible, l'angle θ qu'il fait par rapport à la verticale varie sinusoïdalement avec une période T : $\theta(t) = \theta_0 \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{t}{T} + \varphi\right)$. Dans ces conditions la période T ne dépend que de la géométrie du pendule et du champ de pesanteur.

Lorsque l'amplitude des oscillations est grande, la variation de l'angle θ avec le temps n'est plus sinusoïdale, mais reste périodique en l'absence de frottements. La période dépend de l'amplitude des oscillations. Les frottements font diminuer l'amplitude des oscillations du pendule au cours du temps.

Activité 1 : à l'aide de l'accélération

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi, etc.

Exemples de consignes pour les élèves

Expérimentation (compétence Réaliser)

1. Fixer le smartphone sur le pendule et repérer les trois directions utilisées par l'accéléromètre.

2. Faire osciller le pendule avec une amplitude angulaire donnée et faire l'acquisition des trois composantes de l'accélération de l'accéléromètre du smartphone. Transférer les données à un ordinateur.
3. Répéter l'expérience pour des amplitudes angulaires différentes.

Programmation (compétence Réaliser)

1. Ouvrir le tableau des données.
2. Modéliser les données pendant quelques oscillations par une fonction sinusoïdale de période T.
3. Répéter la modélisation pour les fichiers obtenus avec des amplitudes angulaires différentes.

Validation et expérimentation de la programmation (compétence Valider)

1. Vérifier que les périodes données par les différentes modélisations sont de l'ordre de grandeur de celle mesurée avec un chronomètre.
2. Comparer les périodes et leurs incertitudes pour différentes amplitudes d'oscillation.

Conclusion (compétence Communiquer)

Expliquer comment évoluent l'amplitude et la période des oscillations au cours du temps.

Exemples d'aides pour l'expérimentation et la programmation

Une application de récupération des données de capteurs sur smartphone (Phyphox®)

1. Fixer le smartphone sur le pendule de sorte qu'il soit vertical à l'équilibre.
2. Lancer l'application Phyphox en choisissant le module « accéléromètre avec g ».
3. Lancer l'acquisition en vérifiant qu'une composante horizontale de l'accélération varie bien avec l'oscillation du pendule.
4. Arrêter l'acquisition après de nombreuses oscillations et envoyer le fichier csv à un ordinateur.

Un tableur (Regressi®)

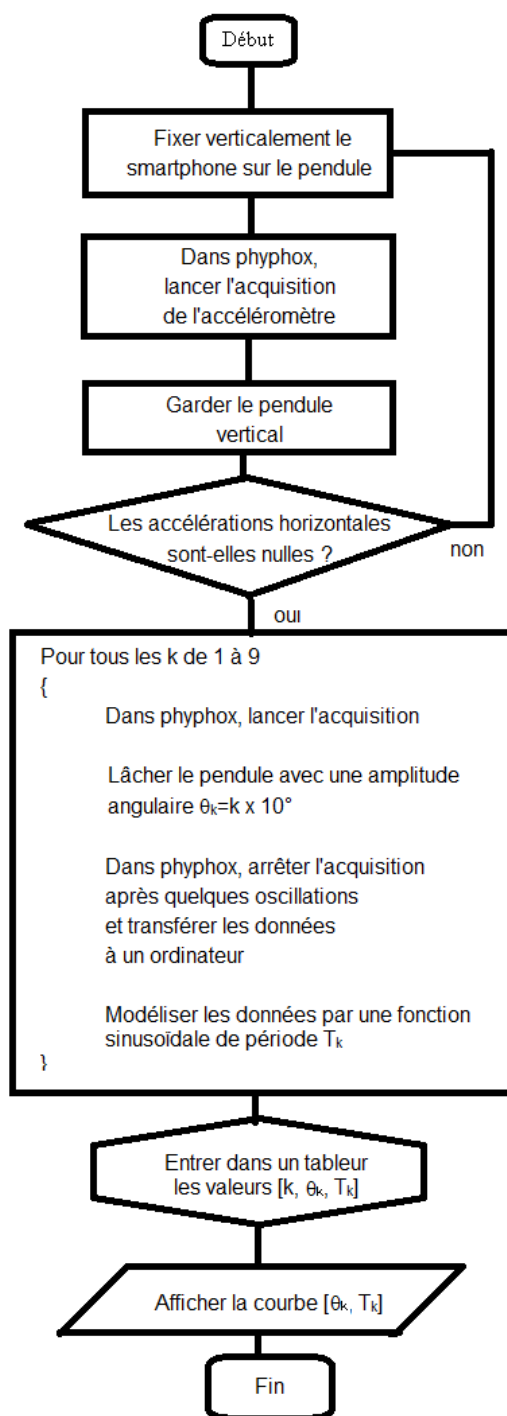
1. Ouvrir le fichier csv généré.
2. Éliminer et renommer les colonnes si nécessaire.
3. Afficher sur un graphique la composante horizontale a de l'accélération en fonction du temps t.
4. Modéliser, en choisissant les bornes de la modélisation sur quelques oscillations, par une fonction $a(t) = A \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right)$, en ajustant les paramètres A, T et φ . Noter la valeur de T et son incertitude.

Le langage Python

1. Ouvrir le fichier acceleration.py.

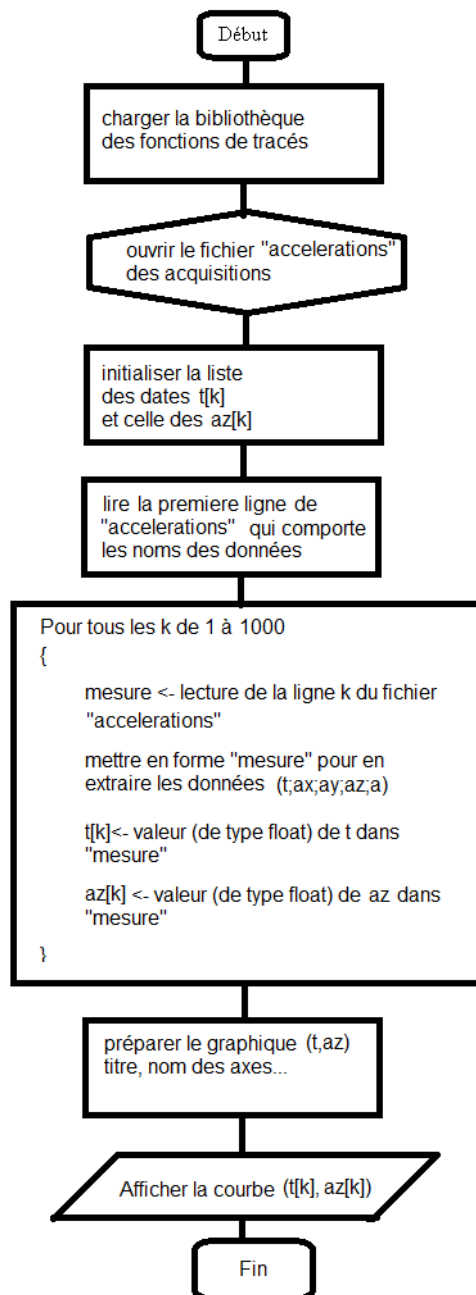
2. Remplacer '?????????????????' par le nom et l'adresse complète du fichier d'acquisition au format csv.
3. Remplacer les quatre séries de '...' par les valeurs ou noms de variable permettant d'enregistrer t et az puis de tracer az en fonction de t.
4. Exécuter le script et interpréter le tracé obtenu en fonction de l'expérience réalisée (valeur initiale de az, évolution au cours du temps)
5. Mesurer sur le tracé à l'aide du réticule la valeur de T avec le maximum de précision. Évaluer l'incertitude de votre mesure

Réalisation de l'expérience avec Phyphox



Dans le dossier compressé « [Oscillations d'un pendule.zip](#) », vous trouverez un fichier, intitulé « Acceleration.rw3 », présentant un exemple de résultats expérimentaux.

Réalisation avec python



Dans le dossier compressé « [Oscillations d'un pendule.zip](#) », vous trouverez deux fichiers intitulés « acceleration.py » et « acceleration_complet.py » présentant respectivement le script à compléter et le script complet.

Activité 2 : à l'aide de la vitesse

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi, etc.

Exemples de consignes pour les élèves

Expérimentation (compétence Réaliser)

1. Fixer le smartphone sur le pendule et positionner sur la paillasse un haut-parleur relié à un générateur qui impose un signal sinusoïdal.
2. Faire osciller le pendule et faire l'acquisition du son enregistré par le smartphone ainsi que de la fréquence de ce son au cours du temps. Transférer les données à un ordinateur.
3. Répéter l'expérience pour des amplitudes angulaires différentes.

Programmation (compétence Réaliser)

1. Ouvrir le tableau des données.
2. Modéliser les données pendant quelques oscillations par une fonction sinusoïdale de période T .
3. Répéter la modélisation pour les fichiers obtenus avec des amplitudes angulaires différentes.

Validation et expérimentation de la programmation (compétence Valider)

1. Vérifier que les périodes données par les différentes modélisations sont de l'ordre de grandeur de celle mesurée avec un chronomètre.
2. Comparer les périodes et leurs incertitudes pour différentes amplitudes d'oscillation.

Conclusion (compétence Communiquer)

Expliquer comment évoluent l'amplitude et la période des oscillations au cours du temps.

Exemples d'aides pour la programmation

Une application de récupération des données de capteurs sur smartphone (Phyphox®)

1. Positionner sur la paillasse un haut-parleur alimenté par un générateur basses fréquences qui délivre un signal sinusoïdal, de fréquence 1000 Hz. Fixer le smartphone sur le pendule de sorte que l'oscillation rapproche ou éloigne le smartphone du haut-parleur.
2. Lancer l'application Phyphox® en choisissant le module « effet doppler ». Vérifier la configuration, en particulier la fréquence 1000 Hz.
3. Lancer l'acquisition en vérifiant que la vitesse mesurée est bien nulle à l'équilibre, augmente si le smartphone se rapproche du haut-parleur, diminue s'il s'éloigne.
4. Arrêter l'acquisition après de quelques oscillations et envoyer le fichier csv à un ordinateur.

Un tableau (Regressi®)

1. Ouvrir le fichier csv généré. Éliminer et renommer les colonnes si nécessaire.
2. Afficher sur un graphique la vitesse v en fonction du temps t .

3. Modéliser, en choisissant les bornes de la modélisation sur quelques oscillations, par une fonction $v(t) = A \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right)$, en ajustant les paramètres A, T et φ . Noter la valeur de T et son incertitude.

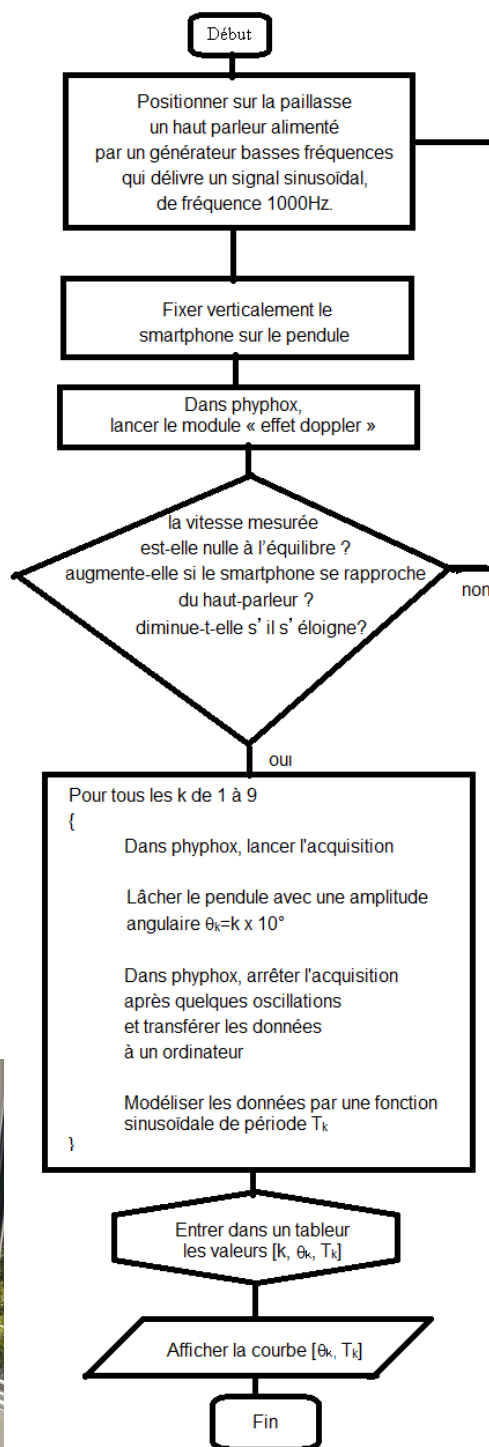
Le langage python

1. Ouvrir le fichier vitesse.py présent dans le dossier « [Oscillations d'un pendule.zip](#) ».
2. Remplacer '?????????????' par le nom et l'adresse complète du fichier d'acquisition au format csv.
3. En s'inspirant du travail mené à l'activité 1, compléter les quatre lignes manquantes du script vitesse.py pour extraire la vitesse du fichier vitesse.csv et tracer l'évolution de la vitesse en fonction du temps.
4. Exécuter le script et interpréter le tracé obtenu en fonction de l'expérience réalisée (évolution de la vitesse en fonction du temps).
5. Mesurer sur le tracé à l'aide du réticule la valeur de T avec le maximum de précision. Évaluer l'incertitude de cette mesure.

Remarque : il est possible en recherchant dans la dernière valeur acquise (fréquence) les valeurs des fréquences maximales et minimales pour en déduire la vitesse maximale atteinte par le pendule :

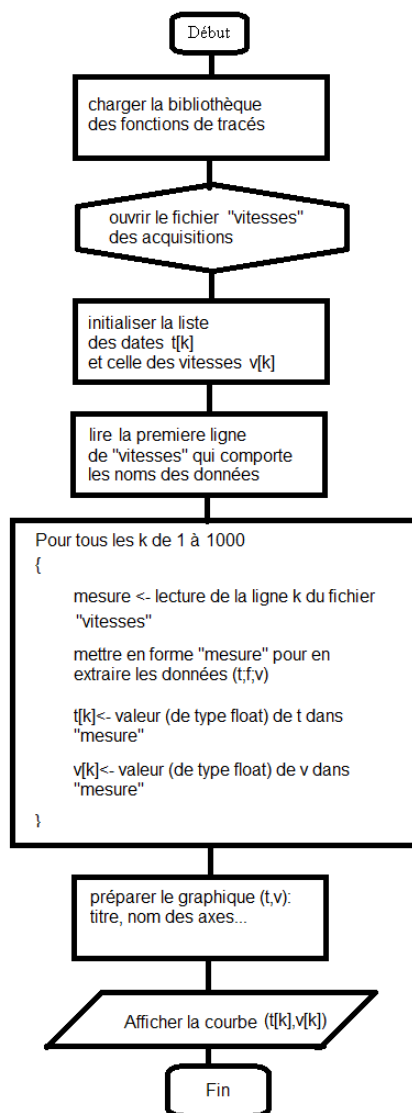
$$v_{\max} = c_{\text{son}} \cdot \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + f_{\min}}$$

Réalisation de l'expérience avec Phyphox



Dans le dossier compressé « [Oscillations d'un pendule.zip](#) », vous trouverez le fichier « Vitesse.rw3 » présentant un exemple de résultats expérimentaux.

Réalisation du programme avec le langage python



Dans le dossier compressé « [Oscillations d'un pendule.zip](#) », vous trouverez deux fichiers intitulés « vitesse.py » et « vitesse_complet.py » correspondant respectivement au script python à compléter et au script complété.

Activité 3 : à l'aide de la mesure de la luminosité

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi, etc.

Exemples de consignes pour les élèves

Expérimentation (compétence Réaliser)

1. Fixer le smartphone sur le pendule et fixer une lampe sur la paillasse de façon que l'éclairage soit plus intense si l'angle que fait le pendule augmente.

2. Faire osciller le pendule et faire l'acquisition de la luminosité mesurée par le smartphone.
Transférer les données à un ordinateur.
3. Répéter l'expérience pour des amplitudes angulaires différentes.

Programmation (compétence Réaliser)

1. Ouvrir le tableau des données.
2. Modéliser les données pendant quelques oscillations par une fonction sinusoïdale de période T.
3. Répéter la modélisation pour les fichiers obtenus avec des amplitudes angulaires différentes.

Validation et expérimentation de la programmation (compétence Valider)

1. Vérifier que les périodes données par les différentes modélisations sont de l'ordre de grandeur de celle mesurée avec un chronomètre.
2. Comparer les périodes et leurs incertitudes pour différentes amplitudes d'oscillation.

Conclusion (compétence Communiquer)

Expliquer comment évoluent l'amplitude et la période des oscillations au cours du temps.

Exemples d'aides pour la programmation

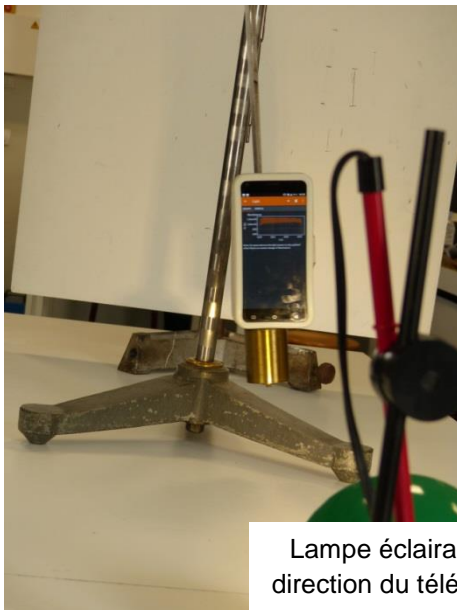
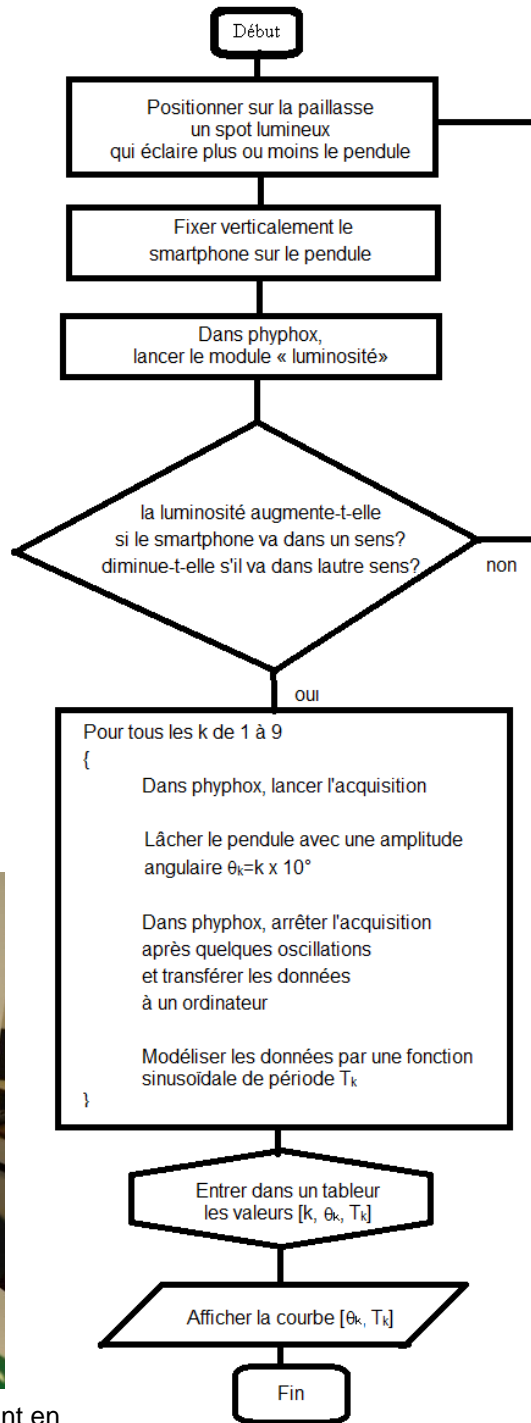
Une application de récupération des données de capteurs sur smartphone (Phyphox®)

1. Positionner sur la paillasse un spot lumineux qui éclaire beaucoup le pendule lorsque celui-ci est décalé d'un grand angle positif, et peu si l'angle que fait le pendule avec la verticale est négatif.
Fixer le smartphone sur le pendule de sorte qu'il soit éclairé.
2. Lancer l'application Phyphox en choisissant le module « luminosité ».
3. Lancer l'acquisition en vérifiant que la luminosité augmente si le smartphone va dans un sens, diminue s'il va dans l'autre sens.
4. Arrêter l'acquisition après de quelques oscillations et envoyer le fichier csv à un ordinateur.

Un tableau (Regressi®)

1. Ouvrir le fichier csv généré. Renommer les colonnes si nécessaire.
2. Afficher sur un graphique la luminosité E en fonction du temps t.
3. Modéliser, en choisissant les bornes de la modélisation sur quelques oscillations, par une fonction $E(t) = A + B \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{T} + \varphi\right)$, en ajustant les paramètres A, B, T et φ . Noter la valeur de T et son incertitude.

Réalisation de l'expérience avec Phyphox



Lampe éclairant en direction du téléphone

Dans le dossier compressé « [Oscillations d'un pendule.zip](#) », vous trouverez le fichier « Position.rw3 » présentant un exemple de résultats expérimentaux.