

TP Physique P1

Effets thermiques

Determination of the Doppler effect and the speed of sound

Determination of Gravitational Acceleration by Using Bouncing Balls and Smartphones

Mesure des tensions de surface

Statistique et incertitude de mesures

Relation entre l'accélération centripète et la vitesse angulaire

Mesure de hauteurs avec son smartphone

Mesure de pression dans un récipient de conservation sous vide

Expérience sur l'analyse d'erreurs et les incertitudes

Mesure de la constante d'un ressort

Measuring the coefficient of static and kinetic friction with your smartphone

Mesure de g en utilisant un pendule magnétique

EFFETS THERMIQUES

*Le but de ce TP est d'étudier expérimentalement les 3 modes de transmission de la chaleur vus en cours. Ce qui permettra de mieux appréhender les phénomènes de **conduction**, de **convection** et de **rayonnement** thermique.*

Pour l'interprétation des mesures, on s'aidera avantageusement, des exercices vus en TD.

A – RAPPEL SUR LES EFFETS THERMIQUES

A.1 - Chaleur, température et unités

La chaleur est une forme de l'énergie. Lorsque l'on introduit une quantité de chaleur dans un corps, sa température s'élève. La température est la manifestation mesurable de la chaleur stockée dans un corps. Tout comme la tension électrique est la manifestation mesurable de la charge électrique stockée dans la capacité d'un condensateur. Il y a un lien de cause à effet entre la chaleur et la température qui peut se représenter ainsi :

CAUSE : Variation de la chaleur stockée \rightarrow **EFFET :** variation de la température

Pour maîtriser la température d'un corps, il faut pouvoir créer des transferts de chaleur. Par exemple, un semi-conducteur dissipera de l'énergie thermique, de la chaleur. Si rien n'est entrepris pour écouler cette chaleur vers l'extérieur, la température du composant augmentera pouvant ainsi le détruire. D'un point de vue microscopique, la température est liée à l'agitation des molécules constituant le corps. Lorsque deux corps échangent leur chaleur, il y a transfert d'énergie cinétique d'agitation des molécules du plus chaud au plus froid cette forme d'énergie s'appelle **chaleur**.

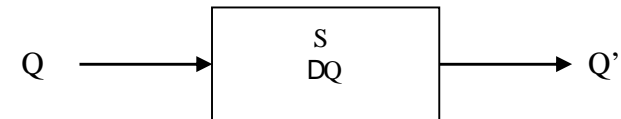
Dans le système international d'unités (SI), la température s'exprime en Kelvin, bien que l'unité la plus courante est le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Mais on utilise aussi parfois le degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Les correspondances entre ces unités sont les suivantes :

L'échelle de température est arbitraire. Elle est définie à partir de deux points fixes : 0°C pour la glace fondante, et 100°C pour l'eau en ébullition (à la pression atmosphérique normale). La chaleur étant une énergie, elle s'exprime donc en Joule dans le SI. Cependant, on rencontre en pratique d'autres unités.

J (Joule)	: $1\text{J} = 1\text{N.m} = 1\text{Kg.m}^2/\text{s}^2$
Cal (calorie)	: $1\text{cal} = 4.185\text{J}$
th (thermie)	: $1\text{th} = 10^6\text{cal}$
KWh (kilowattheure)	: $1\text{KWh} = 0.86\text{th} = 3.6\text{ }10^6\text{J}$

A.2 principe de la conservation de la chaleur et chaleur spécifique

Soit un système S homogène qui reçoit de la chaleur. Le système stocke, ou accumule, une partie de la chaleur et une autre partie est évacuée vers l'extérieur. La chaleur se conserve lors des étapes successives. Ceci peut se représenter ainsi :



Nous avons simplement $\square Q = Q - Q'$. La chaleur accumulée ou contenue dans le système peut se mesurer par l'élévation de température. La formule suivante relie les différents paramètres :
avec :

$$DQ = m.C_p DT = C_{th} DT$$

(1)

$^{\circ}\text{C}$ (degré Celsius)	
K (Kelvin)	avec la correspondance, $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273$
$^{\circ}\text{F}$ (degré Fahrenheit)	avec la correspondance, $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$

$DQ[J]$: représente la quantité de chaleur absorbée par le système ; $m[Kg]$: est la masse de l'objet ; $DT[K]$: représente la variation de température de S une fois la chaleur absorbée ; $C_p[[J/(Kg.°C)]]$: est la chaleur spécifique du système. $C_{th}[J/K \text{ ou } J/°C]$: est la capacité thermique du système

La chaleur spécifique C_p , est une propriété physique intrinsèque d'un matériau. Elle se détermine expérimentalement.

On peut faire l'analogie avec la relation électrique du condensateur $Q=C.V$. C_p représentent la capacité d'un objet à stocker de la chaleur, alors que C représente sa capacité à stocker des charges électriques. Par exemple si on injecte 10 kJ à un litre d'eau, sa température augmente de 2.4 °C. On déduit que :

$$C_p = \frac{DQ}{m.DT} = \frac{10kJ}{1Kg.2.4°C} = 4.18 \frac{kJ}{kg.°C} = 1 \frac{cal}{g.°C}$$

Remarques:

- Un corps s'échauffe d'autant plus que sa chaleur spécifique est faible.
- C_p est une valeur moyenne car elle varie avec la température.

A.3 Flux de chaleur et puissance.

L'apport progressif de chaleur à un système porte le nom de flux thermique. C'est F_{th} est un débit de chaleur défini par :

$$F_{th} = \frac{DQ}{Dt} [J/S \text{ ou } W]$$

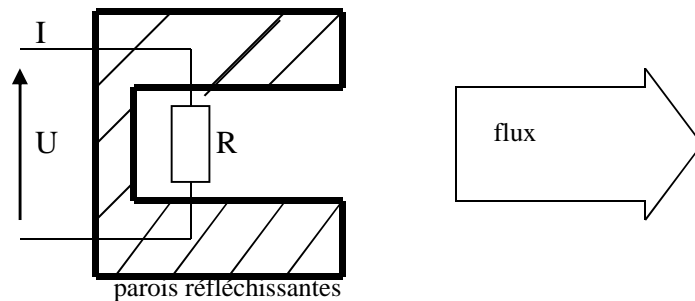


Figure 1

Sur la figure ci-dessus, la résistance électrique à un rendement de 100%. Toute la puissance électrique absorbée est dissipée par effet joule. La chaleur ainsi produite est projetée vers l'avant. On suppose que les parois sont parfaitement réfléchissantes et n'absorbent pas d'énergie. Toute la puissance électrique est transformée en flux thermique ou flux de chaleur.

Le flux de chaleur a donc la même dimension qu'une puissance électrique. Sur la figure précédente nous avons les équivalences suivantes :

$$P = U.I = R.I^2 = F_{th} \quad (2)$$

A. 4 Les modes de transfert de la chaleur

Lorsque deux points de l'espace sont à des températures différentes, il y a transfert de chaleur du point chaud vers le point froid. C'est le deuxième principe de la thermodynamique. Ce transfert peut se faire de trois principales façons : la conduction, la convection et le rayonnement. Considérons ci-dessous le cas du refroidissement d'un composant électronique actif où les trois modes de transfert sont présents :

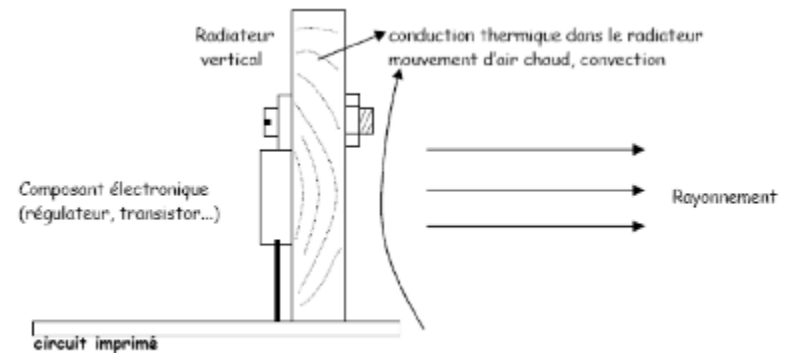


Figure 2 : Refroidissement d'un composant électronique

A-4.1 La conduction

La conduction est une transmission de la chaleur dans un corps qui ne s'accompagne pas de transmission de matière. La transmission de l'énergie thermique se fait par **vibration moléculaire**. Elle concerne surtout les solides.

Dans le cas de la figure ci-dessus, le semi-conducteur est porté à une température élevée et la chaleur s'écoule du point chaud vers le point froid (qui est ici la température ambiante) et dissipe son excédent de chaleur au travers du dissipateur. La puissance cédée par conduction s'exprime par la relation simple suivante :

$$F_{cd} = h_{cd} \cdot S \cdot (T_1 - T_2) = h_{cd} \cdot S \cdot \Delta T \quad (3)$$

où h_{cd} : coefficient d'échange thermique par conduction
 T_1 : température la plus élevée du semi-conducteur
 T_2 : température la plus basse du semi-conducteur
 S : surface d'échange

Pour caractériser l'échange thermique, on définit aussi une densité de flux par conduction qui représente la puissance thermique s'écoulant au travers d'une surface S :

$$j_{cd} = \frac{F_{cd}}{S} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (4)$$

Pour illustrer cette notion de densité de flux thermique, considérons un cylindre homogène de longueur l , de section transversale S , dont les deux extrémités se trouvent à des températures T_1 et T_2 telles que $T_1 > T_2$:

$$j = \frac{P}{S} \quad (\text{W/m}^2)$$

La **loi de Fourier** exprime la proportionnalité de l'effet à la cause :

- Cause : c'est le gradient de température $\frac{dT}{dx}$
- Effet : c'est le débit de chaleur ou le flux de chaleur

$$j = -l \frac{dT}{dx}$$

Le coefficient l désigne la **conductivité thermique du matériau**. Le signe (-) vient du fait que le flux de chaleur est positif quand il s'écoule du point chaud vers le point froid.

Quelques valeurs de conductivité thermiques

	l (W/m °C)		ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg. °C)
	0 °C	400 °C		
air	0.023	0.048	1.28	
aluminium	229	249	2700	900
fer	73	40	7900	450

Ce tableau montre que la conductivité thermique dépend de la température. On peut en première approximation considérer une conductivité moyenne.

Exemple :

Soit un mur d'épaisseur e dont les températures des deux faces sont T_1 et T_2 . Du côté chaud vers le côté froid, va s'écouler un flux de chaleur. En considérant l'épaisseur petite, on peut écrire :

$$j = -l \frac{dT}{dx} = -l \frac{T_2 - T_1}{e}$$

avec T_2 la température du côté froid et T_1 celle du côté chaud.

On remarque que le flux de chaleur est proportionnel à la différence de température $\Delta T = T_1 - T_2$. En reprenant les équations précédentes, on a :

$$j = -l \frac{T_2 - T_1}{e} \quad \text{Par ailleurs : } j = \frac{F_{th}}{S}$$

$$\text{On peut donc réécrire : } F_{th} = j \cdot S = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}} \quad (W) \quad (5)$$

$$\text{Où } R_{th} = \frac{1}{l} \frac{e}{S} = r_{th} \cdot \frac{e}{S} \quad (6) \text{ est la résistance thermique.}$$

La relation (5) est analogue à :
$$I = \frac{V_1 - V_2}{R} \text{ (A)} \quad (7)$$

La résistance thermique est la propriété qu'a un milieu (objet ou transition entre deux objets) à s'opposer au passage de la puissance thermique. De cette analogie, on déduit les équivalences suivantes :

F_{th} (W)	à	I (A)
$T_1 - T_2$ (°C)	à	$V_1 - V_2$ (Volt)
R_{th} (°C/W)	à	R (W ou V/A)

D'autre part la résistance électrique est définie par :

$$R = r \frac{l}{S} = \frac{l}{s \cdot S} [W] \quad (8)$$

où r est la résistivité et s la conductivité électrique

Par analogie on a :

la conductivité électrique s (W ¹ ou S) (W/m.°C)	à	La conductivité thermique l
la longueur du fil L (m)	à	l'épaisseur du mur e (m)
la surface S du conducteur (m ²)	à	la surface du mur (m ²)

De la même manière que nous avons la loi d'Ohm électrique, nous pouvons énoncer **la loi d'Ohm thermique** suivante : $DT = T_1 - T_2 = R_{th} \cdot F$ où F représente le flux thermique en Watt qui s'écoule. Dans le cas d'un semi-conducteur, cette puissance est se retrouve par le produit de la tension par le courant : $P = U \cdot I$

A-4.2 La convection

L'échange thermique par convection a pour origine le **mouvement d'un fluide**. Une surface chaude en contact avec un fluide plus froid transmet une partie de sa chaleur au fluide. Considérons par exemple l'air a une température ambiante T_{AMB} , en contact avec une surface chaude de température T_{DIS} d'un dissipateur pour

semi-conducteur, la chaleur du dissipateur est alors transmise au milieu ambiant par convection. Dans la convection naturelle, le mouvement du fluide est dû aux variations de sa masse volumique provenant des échanges de chaleur entre l'air et la paroi.

L'écoulement peut être laminaire, c'est-à-dire que des filets d'air pratiquement parallèles glissent le long du dissipateur. Il peut être aussi turbulent où les filets d'air forment des volutes (un peu comme la fumée de cigarette qui tournoie à quelques centimètres au-dessus de la cigarette).

Pour exprimer l'échange thermique, nous pourrions utiliser la loi de Fourier comme précédemment :

$$F_{cv} = \frac{l \cdot S}{e} \cdot (T_{AMB} - T_{DIS}) \quad (9)$$

où : S représente la surface du dissipateur, T_{AMB} : la température ambiante
 e , l'épaisseur du fluide où a lieu l'échange, T_{DIS} : la température du dissipateur
 l , la conductivité thermique de l'air.

Cette relation n'est pas utilisable en pratique, car on ne connaît généralement pas l'épaisseur e du film laminaire. De plus, e va dépendre de la mobilité de la zone de turbulence voisine (cas d'un ventilateur par exemple). Pour simplifier, on introduit dans la précédente relation un coefficient h global d'échange thermique par convection. La relation devient :

$$F_{cv} = h_{cv} \cdot S \cdot (T_{DIS} - T_{AMB}) \quad (10)$$

Toute la difficulté est de déterminer la valeur de h_{cv} . Celle-ci est le plus souvent expérimentale. On montre que pour une plaque verticale de hauteur (H) inférieure à 30 cm et pour un écoulement laminaire, on a :

$$\begin{cases} h_{cv} = 1.42 \cdot \frac{DT}{H}^{0.25}, & H < 30cm \\ h_{cv} = 1.78 (DT)^{0.25}, & H > 30cm \end{cases} \quad (11)$$

où DT la différence de température.

A-4-3 Le Rayonnement

Tous les corps émettent un rayonnement de nature électromagnétique. Cette émission se traduit par une perte d'énergie pour le corps qui émet. Dans le cas de la thermique, ce rayonnement n'est pas monochromatique mais composé de nombreuses longueurs d'onde, d'environ de 0.3 μm à 100 μm (du violet à l'infrarouge). L'intensité du rayonnement dépend de la température.

Le corps noir :

Un corps particulier appelé « corps noir » à la propriété d'absorber tous les rayonnements incidents sur sa surface. Il nous apparaît noir à l'oeil car il absorbe tout le rayonnement et il n'y a donc aucune réflexion. Dans le même ordre d'idée, un corps noir porté à une température donnée sera celui qui émettra le plus d'énergie calorifique par rayonnement. Plus sa température augmente et plus le rayonnement devient visible, comme c'est le cas du fer chaud. La loi de Stefan-Boltzman donne la densité de puissance (puissance émise par unité de surface) émise par un corps noir grâce à la relation :

$$\begin{aligned} j_{\text{ray.}} &= s \cdot T^4 \quad \text{en } \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \\ s &= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2} \text{K}^{-4} \text{ (constante de Karlbaum)} \end{aligned} \quad (11a)$$

Le corps noir correspond au maximum d'émission d'un corps. Un corps sera dit gris s'il n'émet qu'une fraction de cette énergie maximum. La relation précédente devient alors :

$$j_{\text{ray.}} = e \cdot s \cdot T^4 \quad (11b)$$

e étant un coefficient inférieur à 1. Par exemple pour un dissipateur de couleur noir e est de l'ordre de 0.8.

Au cours des échanges énergétiques entre un corps (dissipateur) et son milieu ambiant plus froid, la puissance échangée (dissipée) s'écrit :

$$P_{\text{ray}} = e \cdot s \cdot S (T_{\text{Diss}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

(12)

$e = 1$ Pour un corps noir et $e < 1$ pour tous les autres corps qui sont «dits gris »

A-4.4 Application au refroidissement d'un semi-conducteur

Sur la figure 1, le semi-conducteur a sa jonction portée à une température T_j et par la même, porte le dissipateur à une température (T_{dis}) alors que l'air ambiant est à une température plus basse (T_{amb}). Dans ce cas, les trois modes d'échange thermique interviennent :

1- La conduction :

La chaleur générée au niveau de la jonction du semi-conducteur s'écoule vers le dissipateur par conduction, ce qui augmente sa température. On alors :

$$P = \frac{1}{e} \cdot S \cdot (T_j - T_{\text{dis}}) \quad (\text{en W}).$$

2- La convection :

la différence de température entre le dissipateur et l'air ambiant crée un échange thermique par convection et on a :

$$P_1 = h_{\text{cv}} \cdot S \cdot (T_{\text{dis}} - T_{\text{amb}})$$

h_{cv} : coefficient d'échange thermique par convection e ; P_1 : partie de la puissance qui s'échange par convection.

3- Le rayonnement :

L'élévation de température entraîne un rayonnement électromagnétique qui tend à diminuer la température du dissipateur. La puissance thermique mise en jeu est :

$$P_2 = e \cdot s \cdot S (T_{\text{dis}}^4 - T_{\text{amb}}^4)$$

T s'exprime ici en degré Kelvin

En général, il n'est pas simple d'isoler expérimentalement les trois phénomènes et on considère le plus une résistance thermique moyenne qui caractérise les trois mécanismes d'échange thermique.

A-4-5 Exemple

Soit un radiateur de plus de 30 cm de haut et chauffé à l'eau chaude. Sa température est notée T_{rad} et supposée uniforme sur sa surface et il est placé verticalement. La température ambiante est de 20 °C. L'échange thermique se fait de deux façons :

1 - Par **convection naturelle** : $j_{cv} = h_{cv} \cdot (T_{rad} - 20)$ (W / m^2) ou h_{cv} représente le coefficient d'échange thermique qui peut être estimé par la relation précédente :

$$h_{cv} = 1.78 \cdot (T_{rad} - T_{AMB})^{0.25}.$$

Pour $T_{rad} = 60^\circ C$, on a $j_{cv} = 179 W/m^2$

2 - par **rayonnement** : $j_{ray} = e \cdot S \cdot (T_{rad}^4 - T_{amb}^4)$ où

$$S = 5.67 \cdot 10^{-8} (W/m^2 \cdot K^4).$$

Si le radiateur peint de couleur foncée, $e = 0.8$ et pour $T_{rad} = 60^\circ C$, on a alors $j_{ray} = 223 W/m^2$.

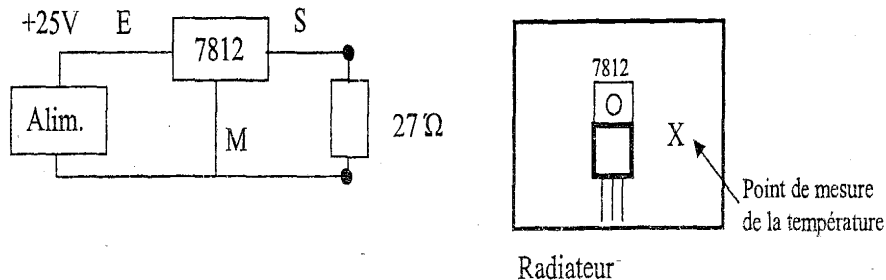
B : MANIPULATION

Remarque :

Pour ce TP vous disposez d'alimentations de puissance doubles. Il est donc possible de faire chauffer plusieurs semi-conducteurs séparément pour accélérer les mesures.

B-I : Etude d'un dissipateur pour microprocesseur de type « pentium »

Le dissipateur est chauffé à l'aide d'un régulateur de tension de type 7812. Celui-ci est alimenté comme montré ci-dessous. Le régulateur est protégé contre les courts-circuits et possède une limitation thermique interne pour éviter tout excès de température.



1. Mesurez la température ambiante et vérifiez qu'elle est identique à celle du dissipateur.
2. Alimentez le montage avec le ventilateur à l'arrêt, attendez que la température se stabilise (environ 16 mn) et relevez cette température finale.
3. Mettre le ventilateur en marche : $U = 12.5V$ pour refroidir rapidement le dissipateur (régulateur non alimenté).
4. Sachant que la surface du radiateur est de $122 cm^2$, estimez la puissance rayonnée $e = 0.8$; en déduire la puissance évacuée par convection.
5. Déterminez la valeur de h_{cv} (coefficient d'échange thermique par convection) et discutez de la précision de sa mesure.
6. Refaire la mesure de la question 2 avec le ventilateur en marche ($U=12V$). La stabilisation en température est plus rapide, environ 5 mn. Déterminez h et discutez.
7. Déterminez la résistance thermique du radiateur avec et sans ventilation forcée. Conclusion ?
8. Déterminez dans les deux cas la température de la jonction du semi-conducteur, sachant que la résistance thermique entre la jonction et la surface métallique du régulateur est de $5^\circ C / W$.

B- II : Effet de la longueur du dissipateur

On se propose d'étudier dans cette partie du TP, l'effet de la longueur du radiateur sur la résistance thermique.

À Pour accélérer les mesures, on branchera les radiateurs :

i R_5, R_8 et R_{11} en parallèle sur une même alimentation :

$$U = 20V, I = 1.5A$$

i R_{15} , et R_{20} en parallèle sur une deuxième alimentation:

$$U = 20V, I = 1A$$

1. Après avoir alimenté les régulateurs, relevez pour chaque longueur la puissance et la température.

Cette mesure demande un peu de patience car il faut attendre la stabilisation de la température.

2. Tracez l'allure de la résistance thermique en fonction de la longueur et comparez vos résultats avec ceux donnés par le constructeur.

B-III : Distribution de la température sur le radiateur

Sur le dissipateur le plus long (R_{30}), sont fixés trois régulateurs de tension. Ceux-ci permettent de dissiper une puissance plus importante et d'élever ainsi la température de manière significative.

1. Alimentez les régulateurs $U = 20V, I = 1.5A$, et attendez ensuite que la température se stabilise (15 mn).
2. Relevez ensuite la température du dissipateur en fonction de la distance de la source chaude que constituent les régulateurs.

Des repères brillants sont placés tous les centimètres. Ne pointez pas avec le thermomètre sur le repère brillant mais entre deux repères sur la zone noire. La mesure sera alors plus précise.

3. Tracez l'évolution de cette température en fonction de la distance et interprétez cette courbe. Conclusion ?

Determination of the Doppler effect and the speed of sound

Studying the Doppler effect with smartphones

The acoustic Doppler effect is an experience in everyday life for everyone. Out of several articles about the Doppler effect, we consider the idea of a rotating sound source as a good example to model the passing by of an sound emitting source. In the following, we will determine the speed c of sound using smartphones as emitter and detector.

Theoretical Background

Consider a sound source with emission frequency f_e which moves on a straight line towards or away from a sound detector at rest. Let $0 < u < c$ be the velocity modulus of the sound source, then the frequency shift Δf between emission frequency f_e and detection frequency f_d is given by:

$$\Delta f = f_d - f_e = \pm f_e \frac{1}{\frac{c}{u} \pm 1} \quad (1)$$

The upper signs (combination of plus and minus) correspond to approaching and the lower signs (minus and plus) correspond to a receding source.

Now consider that the sound source rotates on a disk with constant velocity modulus u and the detector is placed within the rotation plane. A continuous frequency band will appear due to the permanently changing relative velocity between emitter and detector. Figure 1 illustrates that the maximum detection frequency $f_{d,max}$ and the minimum detection frequency $f_{d,min}$ are measured when the velocity vector is directed towards or reversely to the sound detector, respectively.

The speed c of sound can be determined from equation (1) by:

$$c = \frac{u}{1 - \frac{f_e}{f_{d,max}}} = \frac{u}{\frac{f_e}{f_{d,max}} - 1} \quad (2)$$

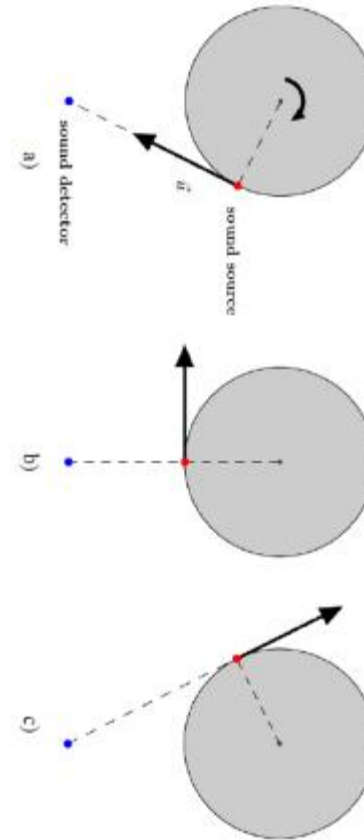


Figure 1. Position of sound emitting source (red dot) in three cases: a) Maximum frequency $f_{d,max} > f_e$ is measured during approach; b) No frequency shift is measured, $\Delta f = 0$ Hz; c) Minimum frequency $f_{d,min} < f_e$ is measured during recession.

Note that we neglect any changes of the experimental conditions (such as non-constant angular velocity of the rotating disc, fluctuating temperature and fluctuations in emission frequency). In the following, we reverse the Doppler effect in the sense that we derive c from the detected Doppler shifts.

Experimental setup



Figure 2. a) Experimental setup ($r = 0.2$ m), b) positions of microphone and speaker (Apple iPod touch).

Figure 2 shows the experimental setup: A smartphone is fixated on a motor-driven rotating disc (with speakers in distance $r = 0.2$ m from point of rotation). The app “Audio Kit” [16] allows to produce emission frequencies f_e up to 19 kHz (figure 2d). We chose an emitting frequency of

$f_e = 19$ kHz which can be motivated by three reasons: First, ambient noise does not disturb the measurement. Second, students will not be annoyed with constant perceivable emitted sound. Third, high frequencies allow using low rotation velocities, see (1). The velocity modulus:

$$u = \frac{2\pi r n}{t} = \frac{2\pi r}{T} \quad (3)$$

of the sound source is determined by measuring the period T from $n = 100$ revolutions during time t . To detect the signals, a second smartphone is placed in the rotational plane near to the disk. While the source is rotating, the mobile’s application continuously measures and graphs the spectrum. This data can be saved and exported as a CSV – file subsequently to evaluate the measurements in detail and to focus on the interesting part of the spectrum (near 19 kHz). Note that the relevant part of the spectrum is not disturbed by ambient noise which typically occurs up to 15 kHz.

Experiments

- 1) Install the mobile’s applications for the receiver and emitter.
- 2) Choose three different speeds of the board and measure them with the LED and photodiode.
- 3) Measure the detected frequency for three different speeds of the emitter using your mobile phone.
- 3) Calculate the velocity c of sound and the relative uncertainty $\frac{\Delta c}{c}$ for the different speeds of the board.

Annexe: Mobile’s application:

iTune

Spektro:skop :

Spektroskop is an easy-to-use yet powerful real-time spectrum analyzer.

Audio Kit:

Audio Kit is a collection of four tools which are essential for those working in audio, sound and music. A real time Spectrum Analyser, a Scope to display waveforms, an SPL (Sound Pressure Level) Meter, and a Signal Generator producing sine waves, white noise and pink noise.

Android

Signal Generator, Function generator, Physics toolbox tone generator,
Audio tool

SPL Spectrum Analyzer

▸ Advanced Spectrum Analyzer

FrequenSee - Spectrum Analyzer

Spectrum Analyser

Speedy Spectrum Analyzer

Spectrum Analyzer

FFT

Determination of Gravitational Acceleration by Using Bouncing Balls and Smartphones

Further interesting experiments can be performed and fundamental physical relationships can be explored with so-called super balls or bouncy balls, e. g. the determination of gravity g . The initial and final heights and the complete duration of all the bounces are measured for a certain number of bounces by the ball. On the basis of this data, the acceleration of gravity can be approximately calculated, if air drag on the ball is neglected. The method is based on the important assumption that each of the individual bounces of the ball loses the same percentage of mechanical energy; the coefficient of restitution k therefore remains the same.

Acoustic data measurement

The objective is to find an effective way of collecting data about a super ball's bouncing process in order to measure the speed of gravity, free fall, the throw and the coefficients of restitutions in an experiment.

We found the use of an acoustic measure particularly effective. The sounds made by the impacts of the ball are recorded with a microphone as voltage signals over a certain period of time. This produces a chronological sequence for a super ball, with the sound made by the impacts resulting in surprisingly sharp peaks, as can be seen (Figure 1). These peaks can be seen as time markers. The data was collected using a mobile phone (iPhone equipped with the "Oscilloscope" app). The simple experiment set-up can be seen in Figure 2.

The person conducting the experiment should select the highest possible buffer size (2000 ms), start the measurement and then release the super ball onto a solid, hard, horizontal and smooth surface, e.g. a stone slab.

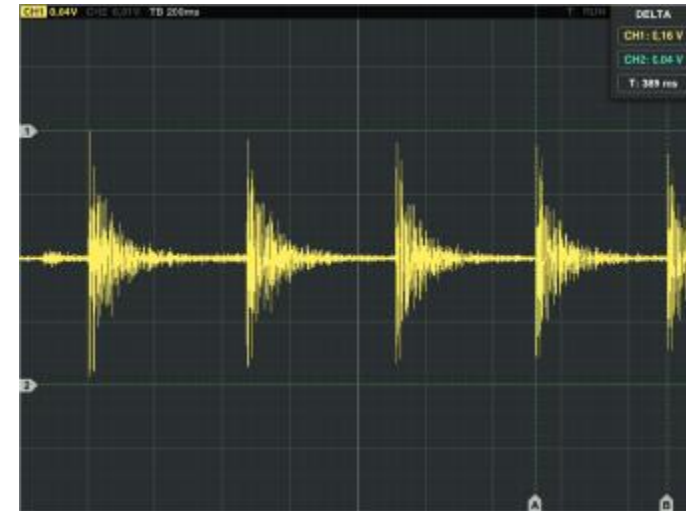


Figure 1

The energy loss on impact

A vertically thrown ball rebounds upwards between two impacts, which have an identical beginning and end height, i.e. $h = 0$ m. Therefore, the rise and fall times t_H of the ball are given with the following equation:

$$t_H = \frac{v_0}{g}$$

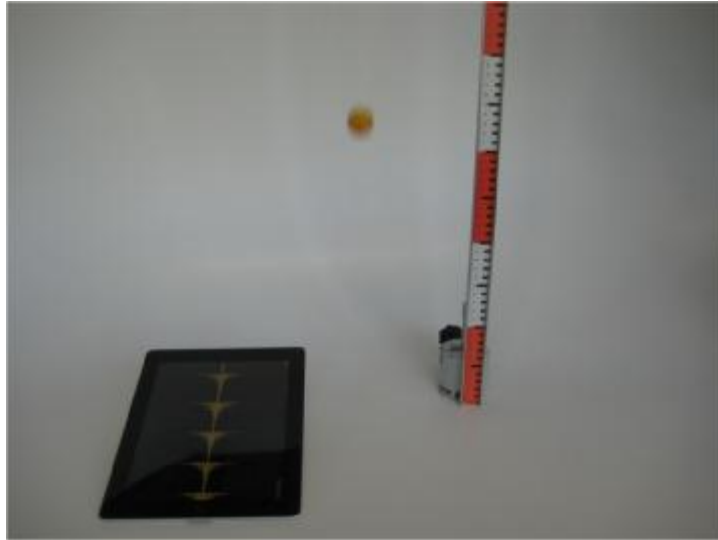


Figure 2

The measurement of the time between two impacts is $\Delta t = 2t_H$. The initial velocity v_0 is also the velocity with which the ball hits the floor again. The kinetic energies E_{kin1} and E_{kin2} between two subsequent impacts behave like the squares of the impact velocities. As a result, taking equation (1) and the coefficient of restitution $k = \frac{E_{kin1}}{E_{kin2}}$.

$$\frac{E_{kin2}}{E_{kin1}} = \frac{v_{02}^2}{v_{01}^2} = \frac{h_2}{h_1} = \frac{t_{H2}^2}{t_{H1}^2} = \frac{\Delta t_2^2}{\Delta t_1^2} \quad (1)$$

It is only possible to measure and quantitatively analyze the last two seconds of the measurement with the app.

Determination of the acceleration of gravity

In order to determine g , the maximum height of the ball between two impacts has to be measured at least once during the bouncing process. It

makes sense to select the initial height of the ball for this, which was 0.7 m for the experiment described below, as it is easily measured. The analysis was conducted as follows.

Assuming that the person performing the experiment has calculated the relative energy loss per impact k as described previously and has ascertained that the value remains constant from bounce to bounce, it is possible to determine the maximum height h_2 of the ball after its first impact with the floor. If h_1 designates the measured initial height, then the maximum height is given by:

$$h_2 = k \cdot h_1 \quad (2)$$

The free-fall time of the ball from its height h_2 until its impact is half of the time Δt between two impacts (Figure 3). By taking this consideration, equation (3) and the distance-time law of free fall into account, g is obtained as follows:

$$g = \frac{2h_2}{(0.5 \cdot \Delta t)^2} = \frac{2kh_1}{(0.5 \cdot \Delta t)^2} \quad (3)$$

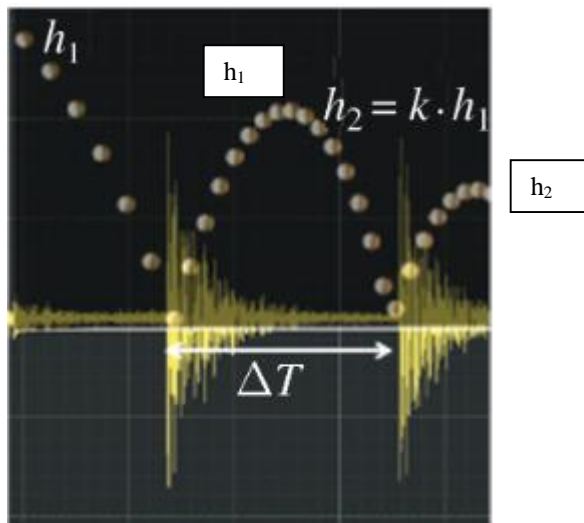


Figure 3

In conclusion, it is possible to measure the acceleration of gravity g and the relative energy loss of an impact using a good super ball with a single sound recording of the sound produced by the impacts.

The experiment yields a result that is sufficiently accurate for the purposes of physics instruction.

Questions

- 1) Insert the applications for Iphone or Android to acquire the sound of the bouncing ball.
- 2) Measure the heights h_2 and h_1 .
- 3) Measure the distance Dt between two bounces.
- 4) Calculate g .

Applications Android

Oscilloscope

Sound Oscilloscope

Oscilloscope Mobile

Analyseur de spectre

Audio Frequency Counter

Mesure des tensions de surface

La tension interfaciale est l'énergie par unité de surface requise pour qu'un matériau crée une interface avec un matériau environnant.

Cette tension superficielle existe pour les interfaces entre les solides, les liquides et les gaz. Dans le cas d'un liquide entouré d'air, la tension interfaciale est souvent appelée tension superficielle, laquelle joue un rôle essentiel dans de nombreux phénomènes naturels tels que la respiration pulmonaire, l'utilisation de détergents et la marche des insectes sur l'eau.

La méthode décrite ici est fondée sur la méthode standard des gouttes pendantes, dans laquelle une goutte de liquide est suspendue à un tube, comme indiqué sur la figure 1 (a).

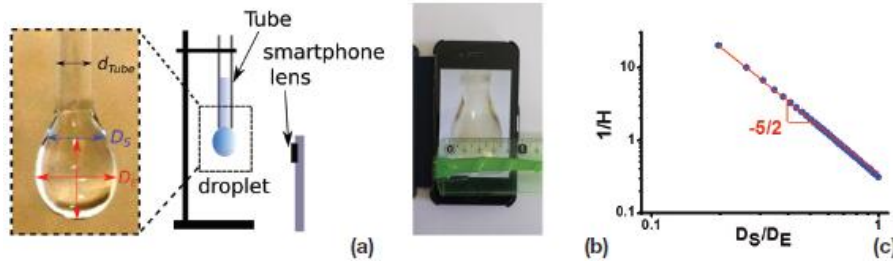


Fig. 1. (a) Goutte d'eau suspendue à la pointe d'une pipette Pasteur. (b) Illustration de la mesure des diamètres directement sur l'écran du smartphone avec une simple règle. (c) $1/H$ en tant que fonction du rapport D_s / D_E . Noter l'échelle logarithmique sur les axes.

La forme de la goutte dépend alors de l'équilibre des forces de tension superficielle le long du tube et du poids de la goutte. Les smartphones sont suffisamment précis pour obtenir des valeurs raisonnables de tension superficielle pour divers liquides tels que l'eau, l'huile et l'eau avec un détergent.

Lorsqu'une goutte est suspendue au bout d'un tube, la forme de la goutte est régie par l'équation locale de Laplace, où le poids de la goutte et les forces de tension superficielle sont équilibrés. Cependant,

une autre façon d'estimer la tension superficielle peut être donnée par la simple équation suivante :

$$\gamma = \frac{\Delta \rho g D_E^2}{H} \quad (1)$$

où $\Delta \rho$ est la différence de densité entre le liquide et l'air, g est la constante gravitationnelle ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), D_E est défini à la figure 1 (a) et correspond au diamètre maximal de la goutte pendante, et :

$$\frac{1}{H} = f\left(\frac{D_s}{D_E}\right)$$

est une fonction sans dimension du rapport entre D_s et D_E , qui prend en compte la forme spécifique de la goutte due à la gravité. D_s est défini comme le diamètre de la goutte situé à une distance D_E du bas de la goutte. Par exemple, si la chute était une sphère parfaite, D_s serait égal à zéro. En raison de la gravité, la gouttelette est alors allongée et D_s devient strictement positive. Cette fonction $1 / H$ peut alors être comprise comme un facteur de forme et a été calculée numériquement, mais on prendra les valeurs représentées à la Fig. 1 (c). Il est également intéressant de noter que dans une bonne approximation, cette fonction sans dimension $1 / H$ peut être approchée par une formule analytique simple :

$$\frac{1}{H} = a \left(\frac{D_s}{D_E}\right)^b$$

où $a \gg 0.345$ and $b \gg -2.5$.

Ainsi, à la suite de l'équation (1), la tension superficielle peut être obtenue en mesurant le diamètre à l'aide d'une règle directement sur l'écran du smartphone, à l'aide des zooms optiques et numériques du smartphone.

Expérience

Des gouttelettes de divers liquides (eau, huile d'olive, eau contenant des tensioactifs, éthanol) seront suspendues à la pointe d'une pipette Pasteur (diamètre de la pointe $d_{\text{Tube}} = 1,4 \text{ mm}$) en la plongeant et en la retirant d'un réservoir de liquide.

L'expérience peut également être testée avec des pailles standard telles que le tube d'un stylo ($d_{\text{Tube}} < 2,9 \text{ mm}$) ou la paille McDonald's ($d_{\text{Tube}} < 5,9 \text{ mm}$) au lieu de la pipette Pasteur pour tester la généralité de l'approche.

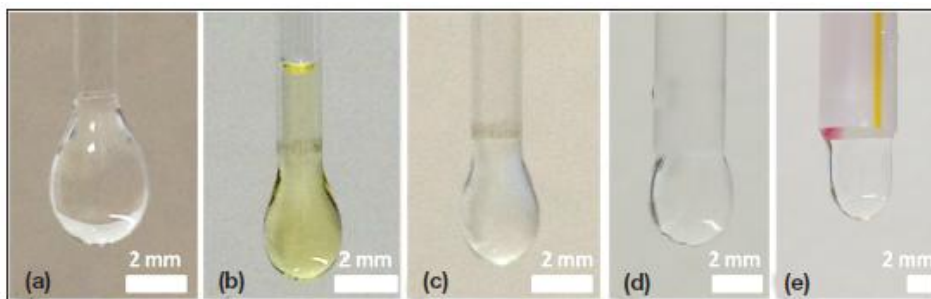


Fig. 2. (a) Goutte d'eau, (b) Goutte d'huile, (c) Gouttelette d'éthanol suspendue à la pointe d'une pipette Pasteur. (d) Une gouttelette d'eau pendante à la pointe d'un tube de stylo. e) Goutte d'eau accrochée au bout d'une paille.

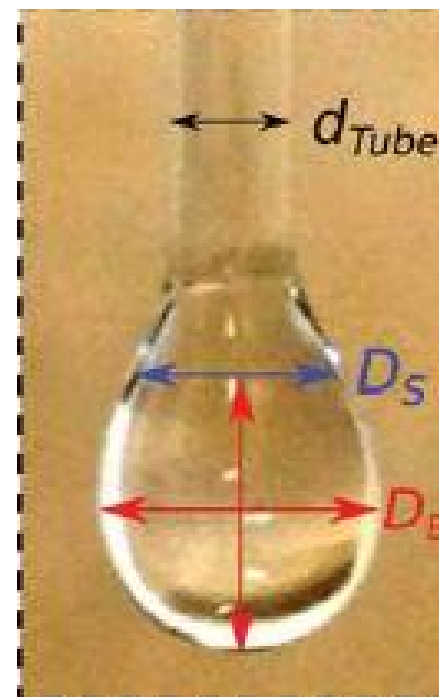
	Valeurs de D_S/D_E	Density difference $\Delta\rho = \rho_L - \rho_{\text{air}}$ (kg/m^3)	Tension de surface (smartphone)	Tension de surface théorique (mN/m)
Eau (pipette)		999		72.8
Huile olive (pipette)		930		2
Ethanol (pipette)		780		23
Eau (stylo)		999		72.8
Eau (paille)		999		72.8

1) En tirant parti de l'objectif optique et du zoom numérique (x5) du smartphone, mesurez D_E , D_S et d_{Tube} directement sur l'écran du smartphone avec une règle standard.

Par exemple, une gouttelette de diamètre réel $D_E = 3,3 \text{ mm}$ [Fig. 1 (a)] peut être grossi à l'aide d'un système optique et du zoom numérique du smartphone jusqu'à un diamètre de 2,8 cm, facilement mesurable. Pour des mesures plus précises, il est également possible d'exporter des images et de les analyser avec le logiciel d'analyse d'image gratuit ImageJ.

Faites les mesures pour les différents liquides

2) Faire un calcul d'erreur



Statistique et incertitude de mesures
(Planche de Galton)

La planche de Galton est constituée d'une planche sur laquelle des clous sont plantés de façon à former un réseau triangulaire de n étages, et où les nœuds sont les clous disposés en quinconce entre deux rangées consécutives (figure 1). Chaque fois que l'on passe d'une rangée à la suivante, le nombre de clous augmente de 1. À la rangée n°1 on a donc un seul clou, à la dernière rangée on a n clous. En dessous de la dernière rangée n , on aménage $n+1$ compartiments destinés à récupérer à la fin de sa course une bille lâchée depuis le sommet du triangle.

On lâche la bille au-dessus du clou de la rangée n°1, située au sommet (la planche, de surface la plus lisse possible, est inclinée pour permettre à la bille de rouler sans quitter la planche).

Lorsque la bille rencontre le clou, elle a une probabilité d'aller à droite notée p , et une probabilité d'aller à gauche notée $q = 1 - p$ (puisque l'on doit avoir $p + q = 1$). Cette probabilité élémentaire, p , est la même quelle que soit la rangée puisque l'on suppose qu'aucun facteur physique propre à chaque rangée (rugosité, déformations, etc.) n'affecte la descente de la bille.

La bille passe ensuite dans la 2^e rangée et rencontre l'un des clous qui y sont présents. La probabilité d'aller à droite est de nouveau p et celle d'aller à gauche $q = 1 - p$.

Et ainsi de suite jusqu'à la dernière rangée n .



Figure 1 : Planche de Galton

Mesures

1.a Placer les billes dans la partie haute de la planche et laisser les billes tomber.

Qu'observer vous ?

1.b Prenez une image du résultat.

1.c Mesurer la hauteur de toutes les rangées et tracer la courbe des hauteurs en utilisant le logiciel octave.

1.d Trouver la courbe qui passe par les maxima des rangées en utilisant la fonction 'fit' d'octave.

1.e Quelle est la largeur à mi-hauteur ?

1.f Comparer avec la simulation.

2) modifier l'inclinaison de la planche. Qu'observez-vous ?

3) Tracez les valeurs des hauteurs des billes. Tracer la fonction gaussienne qui passe par l'ensemble des points*.

4) Mesurer les valeurs des résistances et tracer les valeurs sur une feuille. Tracer la courbe qui passe par l'ensemble des valeurs. Donner la valeur centrale et la largeur à mi-hauteur.

Quelle est la probabilité de mesure d'une résistance ?

- 1) Avec octave (<https://octave-online.net/>) utiliser la fonction suivante pour superposer une courbe gaussienne sur vos résultats de la planche et déterminer l'écart type :

```
h=0.2;
x=1:21 % nber of slots
% rentrer les données y dans un tableau avec :
y=[hauteurs des billes pour chaque slot];
ymax=max(y);
xnew=[];
ynew=[];
for n=1:length(x)
    if y(n)>ymax*h;
        xnew=[xnew,x(n)];
        ynew=[ynew,y(n)];
    end
end

%% fitting
ylog=log(ynew);
xlog=xnew;
p=polyfit(xlog,ylog,2);
A2=p(1);
A1=p(2);
A0=p(3);
sigma=sqrt(-1/(2*A2));
mu=A1*sigma^2;
A=exp(A0+mu^2/(2*sigma^2));

yn=A*exp(-(x-mu).^2/(2*sigma^2));
plot(x,y,'o')
hold on; plot(x,yn,'r');
```

2) Pour la mesure de l'écart type dur les mesures de résistance.

Rentrer les mesures dans un tableau R=[valeurs de résistance ...

[x,R] = hist(R) ;

Bar(R,x)

Calcul de la courbe gaussienne pour $x = R$ et $y = x$;

Relation entre l'accélération centripète et la vitesse angulaire

Le but de cette expérience est de considérer la relation entre l'accélération centripète et la vitesse angulaire. L'accélération centripète est l'accélération dirigée vers le centre, depuis un point en rotation autour d'un axe fixe. L'accélération centripète est l'accélération qui impose un changement de direction en tous les points de la trajectoire.

Plusieurs expériences sont réalisées avec une roue de bicyclette et le téléphone est placé à plusieurs positions axiales distantes du centre de la roue. L'accélération centripète est mesurée avec la composante y de l'accéléromètre et la vitesse angulaire est mesurée avec la composante z du gyroscope. L'accélération centripète a_c est représentée en fonction de la vitesse angulaire au carré ω^2 . La vitesse angulaire est la vitesse à laquelle le téléphone change de direction.

- 1) Mesurer l'accélération centripète en posant le téléphone sur la planche. Faites plusieurs mesures pour plusieurs positions du téléphone le long de la planche (voir figure).
- 2) Tracer a_c en fonction de ω^2 pour différentes positions du téléphone. Montrer avec les ajustements linéaires (fit) que les deux grandeurs ω^2 et R sont liées par la relation bien connue : $a_c = \omega^2 R$ où R est la distance du téléphone au centre de la roue.
- 3) A partir des ajustements linéaires des droites trouver par le calcul la pente des courbes et comparer aux valeurs où est placé le téléphone par rapport au centre de la roue.

Les accélérations centripètes sont tracées en fonction du temps pour différentes valeurs de la distance du téléphone au centre de la roue. Observer les différentes étapes du mouvement. Pendant les premières secondes, la roue est violemment accélérée. Ensuite, le mouvement ralentit et l'accélération décroît progressivement. Enfin, dans les dernières secondes, la roue est arrêtée.



Le capteur d'accélération est fixé sur la roue de bicyclette pour mesurer l'accélération radiale.

- 4) Observer que les résultats permettent de montrer que plus le téléphone est placé loin du centre de la roue et plus l'accélération centripète est importante. Elle devient très faible près du centre de la roue.

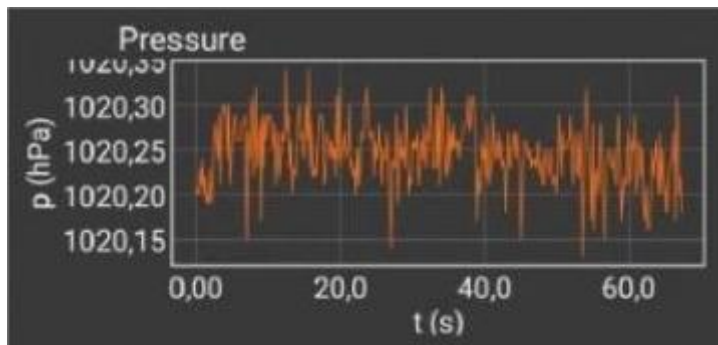
Mesure de hauteurs avec son smartphone

Ce TP s'adresse aux étudiants qui possèdent un smartphone avec un capteur de pression ou qui peuvent mesurer une pression atmosphérique. Pour cela regardez bien dans les caractéristiques de l'appareil.

Dans un premier temps vous allez tester comment la pression varie à une altitude fixée.

Installer l'application 'PHYPHOX' et utiliser le mode mesure de pression de l'application.

1) Positionner le smartphone sur une marche d'un escalier et comme sur la figure Vérifier que les mesures fluctuent dans le temps.



Les valeurs fluctuent entre 1020.15 hPa et 1020.35 hPa. On rappelle que 1 hPa = 100 Pa.

2) Donner une indication des fluctuations en % par rapport à la valeur moyenne. Pour cela vous devez sauvegarder les données. Calculez $\Delta P / P_{\text{moy}} = (P_{\text{max}} - P_{\text{min}}) / (2P_{\text{moy}})$.

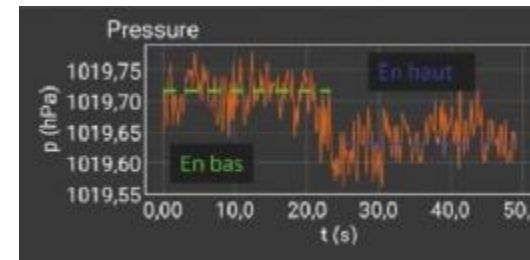
La pression atmosphérique varie en fonction de l'altitude z.

3) Mesurer la pression atmosphérique pour chaque marche en fonction de l'altitude z. L'altitude z correspond à la différence de hauteur entre la marche où les mesures ont été effectuées et la première marche. Que constatez-vous sur la mesure de la pression ?

4) La variation de pression observée est linéaire du type $y = ax + b$. Le coefficient directeur est égal $a = -\rho g$. Convertissez ce coefficient en unité internationale ? Déduisez la masse volumique de l'air en divisant par $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Quel est la valeur de la masse volumique de l'air ?

La mesure précédente peut être utilisée pour mesurer la hauteur d'une table ou celle d'une personne.

5) Placer le smartphone au pied de la table. Notez la valeur de la pression. Après 20 s déplacer le smartphone sur la table. Notez les valeurs de la pression avec l'application :



Calculer la hauteur de la table avec la relation suivante :

$$H = \frac{\Delta P}{\rho_{\text{air}} g} = \frac{P_{\text{bas}} - P_{\text{haut}}}{\rho_{\text{air}} g}$$

Essayer d'évaluer la précision sur la mesure $\Delta H / H$.

Pour aller plus loin vous pouvez faire la même mesure dans l'eau avec un smartphone étanche ou protéger. Dans ce cas la loi attendue est : $P(z) = P_0 - \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot z$.

Mesure de pression dans un récipient de conservation sous vide

Les expériences sont réalisées avec un récipient de conservation d'aliments dont on peut effectuer le vide à l'intérieur et un téléphone avec son capteur barométrique (voir figure). Le récipient à aliments à une contenance à déterminer.



Conteneur d'aliments qui peut être mis sous vide avec une petite pompe. Le téléphone dans le conteneur permet d'y mesurer la pression.

Le vide est fait par une petite pompe qui est posée sur le couvercle de la boîte et qu'on peut actionner à la main pour faire le vide.

La température à l'intérieur du récipient a été vérifiée avant et après le pompage en plaçant un thermomètre dans le récipient et en faisant le pompage. La température est constante.

La pompe est reliée au cylindre à vide par un couvercle. Lorsque la pompe est tirée pour la première fois, le volume augmente de V_0 à V_1 , et la pression diminue de P_0 à P_1 . Pour des pompages successifs le vide se fait dans le récipient. Un des moyens de vérifier que le vide se fait bien à l'intérieur du récipient un chamallow est placé dans le récipient et le vide est fait. On remarque qu'après une vingtaine de pompage le chamallow augment de volume comme le montre la figure 9. Dès que l'air est pompé à l'intérieur du récipient le chamallow s'est gonflé de plus en plus jusqu'à vouloir remplir la plus grande partie du volume intérieur de la cloche.

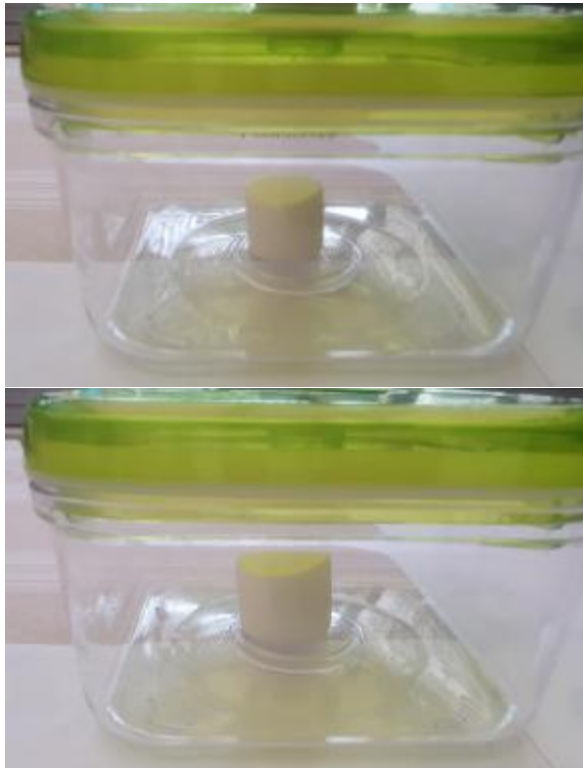
En effet l'air contenu dans le chamallow tend à combler le vide créé autour de lui dans la cloche en verre.

Lorsque le chamallow qui contient de l'air est placé dans le récipient, la force due à la pression qu'exerce l'air contenu dans le chamallow est égal à la force due à la pression qu'exerce l'air contenu dans le récipient : les 2 pressions s'équilibrent. Ceci est vrai en tout point de la paroi du chamallow. Lorsqu'on vide le récipient grâce à la pompe à vide, l'air contenu dans le chamallow exerce sur la paroi de celui-ci une pression plus grande que celle qui existe dans le récipient : le volume du chamallow augmente alors pour que les pressions régnant dans le chamallow et le récipient s'équilibrent. Le volume d'air contenu dans le chamallow augmente tandis que sa pression diminue de manière à respecter la loi de Boyle-Mariotte :

$$P.V = \text{constante}$$

si la température de l'air contenu dans le chamallow reste constante ainsi que le nombre de moles d'air.

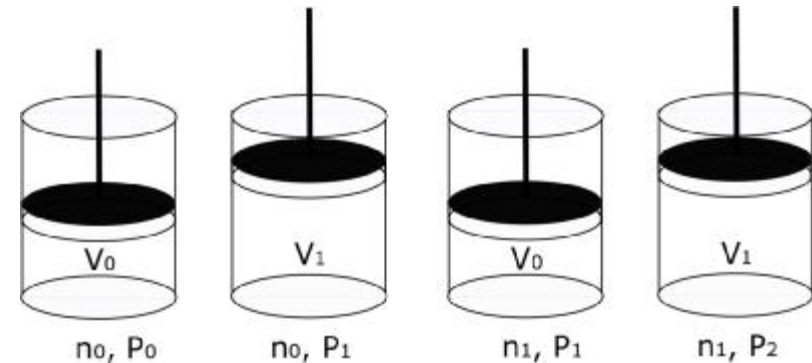
Si l'on ouvre le bouchon du couvercle du récipient pour faire entrer l'air, on constate que le phénomène inverse se produit : le ballon retrouve sa forme initiale.



Exemple d'effet du vide lors du pompage sur un chamallow.

La pompe est reliée au récipient à vide par un couvercle et un embout placé sur le dessus. Lorsque la pompe est tirée pour la première fois, le volume augmente de V_0 à V_1 , et la pression diminue de P_0 à P_1 .

La loi des gaz parfaits fait passer de l'état correspondant à $P_0 V_0 = n_0 RT$ à $P_1 V_1 = n_0 RT$. A température constante et R constant alors la quantité d'air n_0 change.



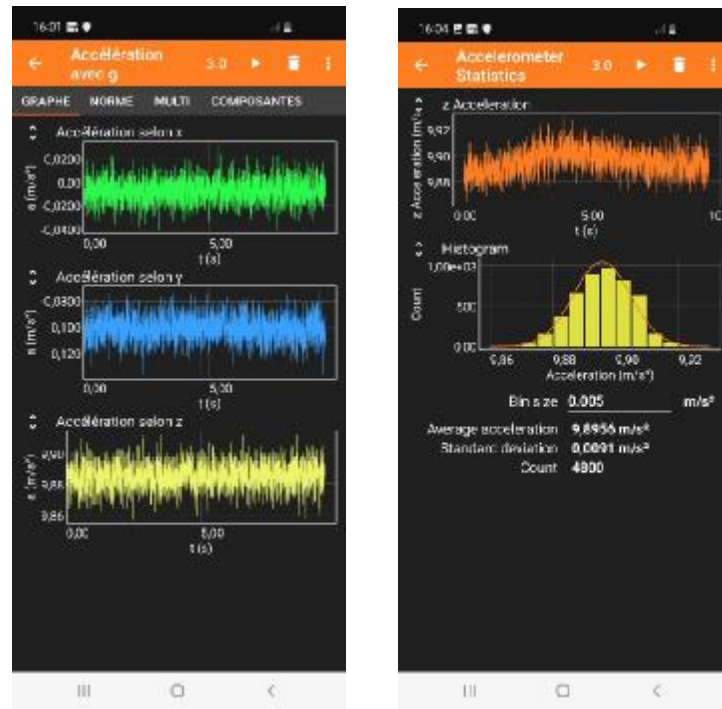
Modification de la quantité de matière dans le récipient et de la pression sous l'action du pompage du récipient.

Mesures

- 1) Le volume de la pompe qui sert à faire le vide dans le récipient doit être mesuré. Déterminer le volume géométriquement en mesurant ses dimensions ou à l'aide de sa contenance en eau.
- 2) Déterminer le volume du récipient à utiliser comme récipient sous vide en utilisant un verre mesureur.
- 3) Tracer le résultat de la pression à l'intérieur du récipient après une série de pompages jusqu'à la limite maximale de vide obtenu dans le récipient. Donner la valeur limite de pression obtenue. Cette valeur limite correspond à la moitié de la pression initiale. A chaque pompage la quantité d'air et la pression à l'intérieur du récipient décroît. Tracer ensuite la pression en fonction du volume d'air enlevé.
- 4) Recommencer l'expérience en vérifiant que le son du téléphone ne s'entend pas lorsque le vide est fait.

Experiment on error analysis and uncertainties

Most measurements in the real world present statistical uncertainties. When facing repeated observations with different results it is natural to ask ourselves what is the most representative value and what is the confidence that we can have in that value. The International Standard Organization (ISO)3 defines the errors evaluated by means of the statistical analysis of a series of observations as type A in contrast with other, systematic, sources of errors, type B, whose evaluation is estimated using all available non-statistical information such as instrument characteristics or observer's individual judgment.



A

B

Fig.1 : a) Measurement of the accelerometer component when the smartphone is put on a stable surface, b) Statistical study of measurement values for one component of the acceleration.

The first experiment consists of recording the fluctuations of the vertical component of the accelerometer sensor with the mobile device standing on a table, during a time lapse (fig. 1a).

1) In the PhyPhox app choose in the menu the experiment Statistical physics which automatically displays temporal series and histograms. Choose a delay of 3 s and register a_z for 10 s. The 3 s delay is important to avoid touching the device at the moment the register starts and introducing spurious values.

2) Plot the corresponding histogram (fig. 1b). Compare with a normal (Gaussian) curve with the same mean value and standard deviation. Adjust the vertical scale so that the area under the normal curve and the sum of the bins of the histogram are both equal to 1.

3) Plot the histogram of the vertical values and measure the resolution of the accelerometer sensor.

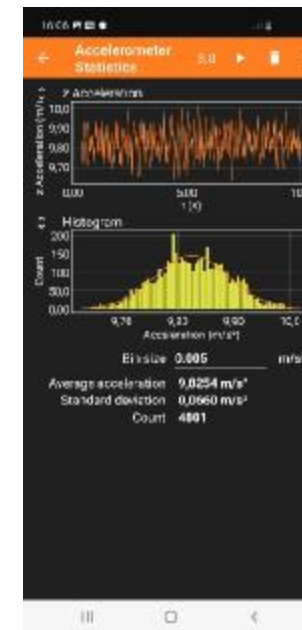


Fig. 2: Measurement of the vertical component of the accelerometer when the smartphone is hold in your hand

4) Repeat the experiment with the smartphone hold in your hands (fig. 2).

5) Repeat the experiment with different smartphones.

Mesure de la constante d'un ressort

Le but du travail est de mesurer la constante d'élasticité d'un ressort. L'expression de k s'écrit alors :

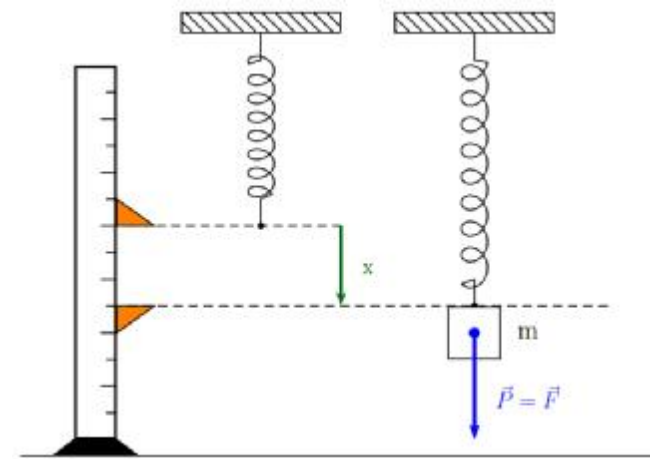
$$k = \frac{4\pi^2 m}{\left(\frac{\Delta t}{n}\right)^2}$$

- 1) Mesurer la masse de votre téléphone.
- 2) Placer une masse connue et le téléphone dans la coupelle attachée au ressort. Le téléphone doit avoir l'application Phyphox installée.
- 3) Lâcher le ressort et mesurer la composante verticale de l'accélération.
- 4) Tracer l'accélération en fonction du temps. Déterminer l'intervalle de temps Δt pour $n = 15$ le nombre d'oscillations.
- 5) Calculer k avec :
L'expression de k s'écrit alors :

$$k = \frac{4\pi^2 m}{\left(\frac{\Delta t}{n}\right)^2}$$

- 6) Calculer l'incertitude sur la valeur de k .

Cette valeur de k correspond bien au résultat d'une mesure statique, dans lequel le déplacement x du ressort a été examiné par rapport à la force F qui lui est appliquée (forces résultantes des différentes masses attachées au ressort). Le poids P (force F) d'un corps est, en un endroit donné, proportionnel à sa masse m (qui ne dépend pas de l'endroit), d'après la formule $P = m \cdot g$ où g est l'intensité de la pesanteur ($g_{\text{Terre}} = 9,81 \text{ N/kg}$).



Pour un ressort élastique, la loi de Hooke de l'élasticité est appliquée.

La caractéristique x - F d'un ressort, l'équation de la droite de régression s'écrit :

$$F = k \cdot x$$

Cette relation est appelée la «loi de Hooke». Elle traduit la proportionnalité entre allongement et la force. Elle peut aussi s'écrire : $k = \frac{F}{x}$

- 7) Pour un ressort donné, mesurer les valeurs de l'allongement x en fonction des forces F appliquées. Pour appliquer des forces bien précises, accrocher des masses pour lesquelles on peut facilement calculer le poids (dans ce cas la masse étire alors le ressort par une force qui est tout simplement égale à son poids).

- 8) Tracer F en fonction de x . La pente correspondant à la constante du ressort. Une régression linéaire confirmera la relation linéaire avec le coefficient k ajusté aux mesures.

Measuring the coefficient of static and kinetic friction with your smartphone

Purpose:

The purpose of this experiment is to:

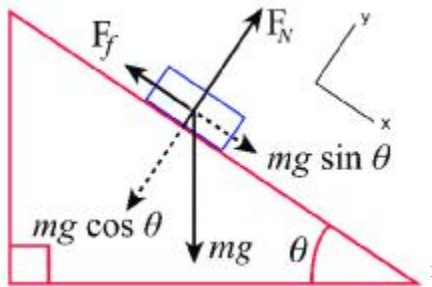
- Observe difference between static and kinetic friction
- Measure the coefficient of static friction
- Observe a difference in coefficient of static friction for different materials

Equipment:

- Smartphone and phyphox application
- A flat tilt-able object
- Objects to slide with different materials.

Theory:

An object on an incline will begin to slide if the incline is sufficiently steep. This happens when the component of the force of gravity along the incline becomes greater than the force of static friction. We can find the angle where this happens and then compute the corresponding coefficient of static friction μ_s . Looking at the diagram for an object on an inclined plane:



In order to simplify, we define the coordinate system tilted along the plane- (fig. 1). This constrains the acceleration to be along this x axis and fixes the acceleration in y to zero. Summing forces in the x direction we have:

$$\sum F_x = mg \sin \theta - F_f = ma$$

We also know that $F_f = \mu_s F_N$, we can combine and write:

$$mg \sin \theta - \mu_s mg \cos \theta = ma$$

μ_s can be determined at the critical angle, i.e. where $\sin \theta = \mu_s \cos \theta$

$$\mu_s = \tan \theta$$

We get the coefficient of static friction from the max angle in this way. Note: this is to be distinguished from the coefficient of kinetic friction μ_k once the object starts sliding-we're not able to measure that with this method.



Board with two surfaces and 4 plates for friction measurements

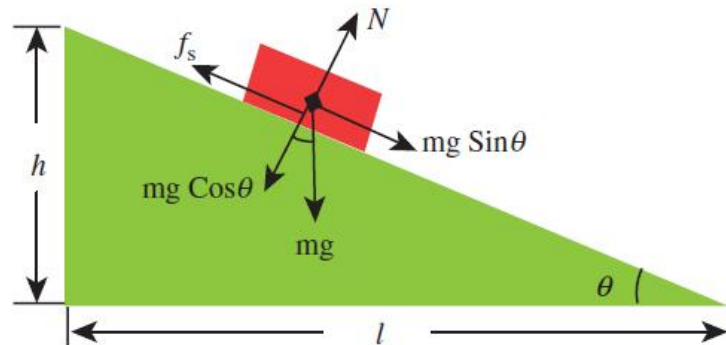
Experiment:

1. Static coefficient measurement

In phyphox find tools-inclination. Select the "PLANE" option. This function makes use of the 3 accelerometers in your phone and figures out how tilted

the phone is, i.e. if it is lying flat, it'll read an inclination of 0 deg. This same idea is behind how apps rotate the screen when you're watching something and rotate the phone. Place your phone on the board. The smartphone is placed on a flat surface with an angle of 0°. The glide plane is slowly raised by the object begins to move. Start recording the angle and tilt until the phone begins to slide. Do this a number of times, at least 10, to generate some statistics with different combinations of surface types of materials and bases. The resulting data from *Phyphox* is then exported for analysis to obtain a static coefficient value.

You can then export that data to your computer via email. (alternatively, you can access your phone directly by setting it as a hotspot or if you're on the same wifi, see here: <https://phyphox.org/remote-control/>) In Excel or Scilab find the corresponding coefficient of static friction (find the average) and the standard error, i.e. the error on the mean, σ/\sqrt{n} . What coefficient do you find for your phone? Does it have a rubber case- why might this be from the perspective of coefficient of static friction?



$$\begin{aligned} mg \sin q - f_s &= 0 \quad (f_s = \mu_s N) \\ mg \sin q - \mu_s N &= 0 \quad (N = mg \cos q) \\ mg \sin q - \mu_s mg \cos q &= 0 \end{aligned}$$

$$\mu_s = \tan q = \frac{h}{l}$$

2. Compare/measure a difference

Plot the statistics of your measurements. Considering the histogram of your measurements calculate the average value and the standard deviation of your measurements.

3. Kinetic coefficient measurement

The block is set on an inclined plane so the block can continuously slide with changing speed. The angle used must be broad enough, so the gravity along the inclined plane surface is more significant than the kinetic friction force to upright along the inclined plane. Therefore, the total force equation on the block is:

$$F = w \sin \theta - f_k$$

with kinetic friction force:

$$f_k = \mu_k N = \mu_k w \cos \theta$$

Here, μ_k is kinetic frictional coefficient. If $F > f_k$ the object moves with acceleration. If $F = f_k$, the object moves with constant speed.

Through the second Newton law, the object acceleration can be obtained:

$$a = \frac{F}{m}$$

So, on the inclined plane, the kinetic friction coefficient of the object can be obtained:

$$\mu_k = \tan \theta - \frac{a}{g \cos \theta}$$

where θ is the angle used on the inclined plane. When the block is sliding on the inclined plane, the smartphone is set to record acceleration data on the moving block. Then, after the block stopped, the smartphone is also set to stop the data recording. On the available features on smartphone, acceleration data as a function of time obtained is then exported to a spreadsheet application such as Excel to be analyzed. Data obtained on Excel covers block acceleration data on the x-axis, block acceleration on the y-axis, and block acceleration on the z-axis. However, this research only used the block acceleration on the x-axis because the position of the smartphone when sliding with the block is horizontal. Therefore, only the direction of the x-axis that follows the direction of the block when sliding on the inclined plane.

4. Measurements

Measure the different dynamic friction coefficient for: a metallic plate, a piece of wood, a piece of plastic. The experiment will be done on two different surfaces. For each object repeat the different measurements and calculate the average value and the uncertainty.

Mesure de g à l'aide d'un pendule magnétique et d'un magnétomètre pour smartphone

Le pendule simple est un exemple classique de mouvement harmonique simple dont la période est le paramètre le plus important. Théoriquement, la période du pendule T en fonction de la longueur L et de l'accélération due à la gravité g s'exprime comme suit :

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

L'équation (1) peut être réécrite sous la forme suivante :

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$$

L'équation (2) montre la relation linéaire entre le carré de la période et la longueur avec une pente S :

$$S = \frac{4\pi^2}{g}$$

Après avoir recueilli des points de données pour la période et la longueur, l'équation (2) peut être tracée avec T^2 en fonction de L . En substituant la pente du tracé linéaire résultant à l'équation (3), l'accélération due à la pesanteur peut être obtenue.

Le dispositif expérimental se compose principalement d'un smartphone doté d'un capteur de champ magnétique intégré et installé avec une application Android appelée Physics Toolbox Sensor Suites ou PhyPhox, un pendule simple avec un petit aimant collé à la base de la bobine du

pendule, un mètre ruban et un ordinateur. Comme pour toute autre méthode, dans la mesure de l'accélération due à la gravité à l'aide d'un simple pendule, le paramètre crucial qui doit être mesuré directement et avec le plus de précision possible est la période. En utilisant la configuration pour mesurer la période, il faut lancer le capteur de champ magnétique ou magnétomètre de l'appareil via l'application, puis laisser le pendule, dans le régime des petits angles, osciller un peu au-dessus de l'écran de l'appareil.

- 1) mesurer la période du pendule pour différentes valeurs de longueurs du fil L .
- 2) Tracer T^2 en fonction de L .
- 3) Déduire du calcul de la pente la valeur de g .
- 4) Faire un calcul d'erreur sur la mesure.

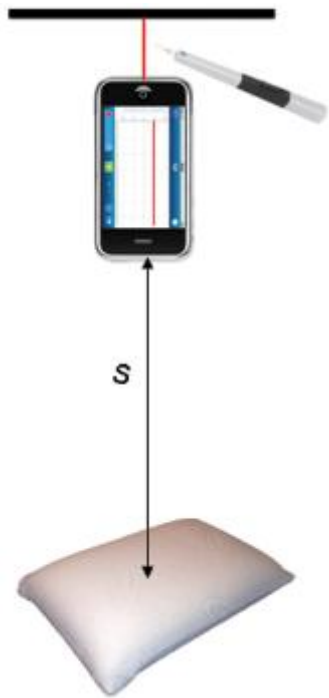
Faire l'expérience suivante dans laquelle le smartphone a une double fonction. Il servira à la fois de corps tombant et de jauge électronique, ce qui permettra de déterminer le temps de chute libre avec une bonne précision.

Si l'on applique les valeurs trouvées à l'équation distance-temps pour une accélération uniforme (sans distance initiale ni vitesse initiale et avec l'influence du champ de gravitation pour l'accélération), on trouve :

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

L'accélération de la pesanteur g est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$g = \frac{2s}{t^2}$$



- 1) Faire la mesure de g en lâchant le téléphone d'une hauteur mesurée.
- 2) Comparer vos résultats par les 2 méthodes