

ETUDE D'UN MOUVEMENT UNIFORMEMENT ACCELERE

TRAVAIL PREPARATOIRE

A l'aide du théorème de l'énergie cinétique, trouver la relation $v = \sqrt{2 \frac{m}{m+M} g(x-x_0)}$.

En déduire l'expression de l'accélération donnée par la relation (7).

Lire attentivement le paragraphe ANNEXE (fin du fascicule) sur le compteur de temps à cellule photoélectrique et sur le logiciel KINOVEA.

Etude d'un mouvement uniformément accéléré

1. But de la manipulation

Le but de ce travail est de vérifier par l'expérience simple d'un mouvement uniformément accéléré quelques résultats élémentaires de la dynamique des solides indéformables de façon à mettre en évidence la différence entre les notions de vitesse moyenne et de vitesse instantanée. On utilisera deux approches expérimentales différentes. La première utilisera des mesures de temps à l'aide d'un compteur à cellule photoélectrique. La seconde consistera à prendre en main un logiciel de traitement de données à partir d'une séquence vidéo.

2. Rappels théoriques

On considère le dispositif de la figure 1 :

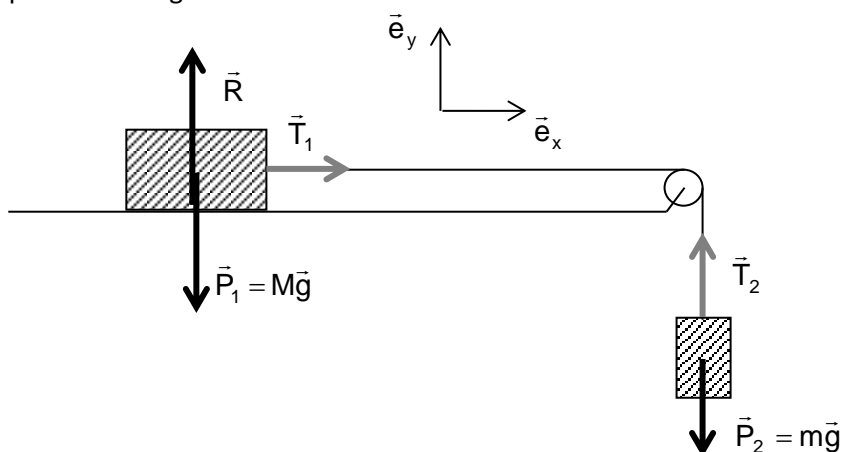


Figure 1 : Dispositif d'étude

On applique la relation fondamentale de la dynamique au solide de masse M sur un plan horizontal, tiré par la masse m suspendue à un fil inextensible par l'intermédiaire d'une poulie supposée sans frottement :

$$\vec{P}_1 + \vec{R} + \vec{T}_1 = M \cdot \vec{\gamma}_1 \quad (1)$$

En l'absence de frottement entre la masse M et le plan horizontal la réaction est normale au plan. L'objet descend obligatoirement sous l'action de n'importe quelle masse m .

L'objet ne décollant pas du plan, soit l'accélération est nulle (cas statique) soit l'accélération n'a qu'une seule composante tangentielle au plan incliné.

En projetant sur les axes orientés par \vec{e}_x et \vec{e}_y on obtient le système d'équations :

$$\begin{cases} -M \cdot g + T_1 = M \cdot \gamma_1 \\ -M \cdot g + R = 0 \end{cases} \quad (2)$$

On applique maintenant la relation fondamentale de la dynamique au solide de masse m suspendu à l'extrémité du fil tendu :

$$\vec{P}_2 + \vec{T}_2 = m \cdot \vec{\gamma}_2 \quad (3)$$

En l'absence de forces extérieures le mouvement de l'objet s'effectue selon un axe vertical, on en déduit que :

$$T_2 - m \cdot g = m \gamma_2 \quad (4)$$

Chacun de ces deux systèmes ne constitue pas un système isolé, ils sont couplés par la tension du fil. En conséquence, si d'une part le fil reste tendu et ne s'allonge pas pendant tout le mouvement et d'autre part son poids et l'énergie cinétique de la poulie peuvent être négligés alors les forces de tension T_1 et T_2 sont de normes égales :

$$T_1 = T_2 \quad (5)$$

Pour les accélérations γ_1 et γ_2 , il faut tenir compte du repère :

$$\gamma_1 = -\gamma_2 = \gamma \quad (6)$$

D'où en reportant (6), (7) et (8) dans le système (4) on obtient l'équation différentielle du mouvement et une expression de l'accélération :

$$\gamma = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{m}{M+m} \cdot g \quad (7)$$

On constate que l'accélération est une constante. Le mouvement est dit uniformément accéléré, d'où l'expression de la vitesse instantanée :

$$v = \frac{dx}{dt} = \gamma \cdot t + v_0 \quad (8)$$

et la loi horaire du mouvement :

$$x = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0 \quad (9)$$

Si le système est abandonné sans vitesse initiale ($v_0 = 0$) du point de coordonnée $x = x_0$ à l'instant $t = 0$ on a une relation simple entre la vitesse instantanée et la position du mobile à chaque instant.

$$v = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot (x - x_0)} \quad (10)$$

Enfin, on peut définir la vitesse moyenne v_{moy} du mobile pendant le trajet comme le rapport de la distance parcourue depuis le point de départ avec le temps mis, soit :

$$v_{\text{moy}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t} \quad (11)$$

Soit, en utilisant (8) :

$$v_{\text{moy}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot t \quad (12)$$

On constate en comparant (7) et (11) que la vitesse moyenne et la vitesse instantanée sont reliées par la relation simple :

$$v_{\text{moy}} = \frac{v}{2} \quad (13)$$

3. Partie Expérimentale :

Réaliser le montage de la figure 2 dans lequel l'angle θ est nul.

Il comporte :

- un plan horizontal gradué
- un chariot mobile sans frottement et sa masse additionnelle ($M = M_c + M_a$),
- une masse étalonnée (m),
- un fil de masse négligeable devant m et M ,
- une poulie sans frottement montée sur étau dont on néglige le moment d'inertie donc l'énergie cinétique de rotation,
- un dispositif de départ sans vitesse initiale utilisant un électroaimant,
- un butoir permettant l'arrêt du chariot en fin de course.

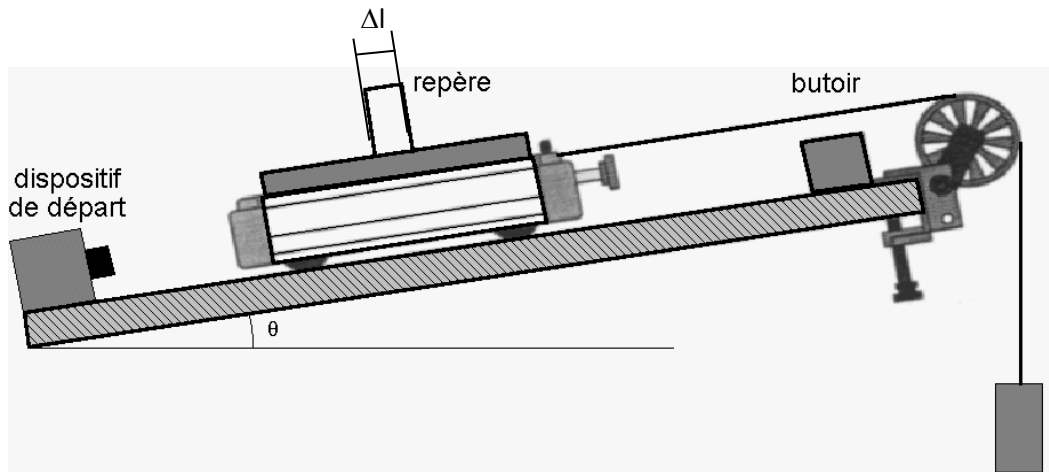


Figure 2 : Dispositif expérimental

1^{ère} Partie : UTILISATION D'UN COMPTEUR DE TEMPS A CELLULE PHOTOELECTRIQUE

Etude de la trajectoire et vitesse moyenne

Dans un premier temps on va retenir le chariot à l'aide de l'électroaimant alors qu'on a suspendu une masse $m = 50 \text{ g}$ suffisante pour tendre le fil et entraîner le mouvement.

Pour mesurer les temps de trajet on va utiliser le Compteur de Temps avec deux Cellules Photoélectriques en mode "PULSE" (cf. Annexe).

Placer la 1^{ère} cellule au point de départ d'abscisse x_0 de façon à ce que le repère déclenche le comptage du temps dès la mise en mouvement du mobile.

Placer la 2^{ème} cellule en un point d'abscisse x de façon à ce que le passage du repère déclenche l'arrêt du comptage du temps. Le compteur affiche alors le temps de trajet t entre les positions x_0 et x .

On fera plusieurs mesures successives en appuyant sur la touche RESET après chaque affichage du temps de trajet et on prendra la valeur moyenne des résultats.

Renouveler la mesure pour plusieurs valeurs de x espacées d'environ 10 cm. En déduire la vitesse moyenne sur le trajet v_{moy} pour chaque valeur.

Regrouper les résultats dans un tableau :

$x - x_0$	t_{mes}	t_{mes}^2	v_{moy}

Tracer la courbe $x - x_0 = f(t^2)$.

En déduire que le mouvement est uniformément accéléré. Justifier votre réponse.

Donner la valeur de l'accélération γ_{mes} .

Etude de la vitesse instantanée

On reprend le montage précédent pour mesurer la vitesse instantanée du mobile aux différents points de la trajectoire.

Pour mesurer cette vitesse on va maintenant utiliser le Compteur de Temps avec une seule Cellule Photoélectrique en mode "GATE" (cf. Annexe).

Placer la cellule au point d'abscisse x , appuyer sur la touche RESET et lâcher le mobile sans vitesse initiale de la position x_0 . Lors du passage du mobile le compteur mesure le temps de passage Δt du repère de largeur Δl devant la cellule. Le repère étant de petite dimension on en déduit la vitesse instantanée du mobile :

$$v_{\text{mes}} = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (14)$$

On fera plusieurs mesures successives en appuyant sur la touche RESET entre deux affichages du temps de passage et on prendra la valeur moyenne des résultats.

Renouveler la mesure en prenant de préférence les mêmes valeurs de x espacées d'environ 10 cm que dans le paragraphe précédent.

Regrouper les résultats dans un tableau :

$x - x_0$	$\sqrt{x - x_0}$	Δt_{mes}	v_{mes}

Tracer la courbe $v_{\text{mes}} = f(\sqrt{x - x_0})$.

En déduire la valeur de l'accélération γ_{mes} .

Comparer les valeurs des vitesses moyennes et des vitesses instantanées pour une même valeur de $x - x_0$ avec la relation (13).

Détermination de g

Comparer les valeurs trouvées pour l'accélération avec la formule théorique déduite de (7).

En déduire une mesure de l'accélération de la pesanteur g , au niveau du laboratoire.

Commentaires et conclusions.

2^{ème} PARTIE : UTILISATION D'UN LOGICIEL DE TRAITEMENT DE DONNEES

L'objectif de cette partie est la prise en main d'un logiciel de traitement de données dans le but d'une initiation à l'utilisation d'un environnement intégré sur ordinateur.

Le logiciel que nous allons utiliser s'appelle **KINOVEA**[®]. L'acquisition des données va être faite sous la forme d'une séquence vidéo enregistrée à l'aide d'une webcam muni d'un système d'éclairage et de ce logiciel d'acquisition.

Acquisition de la séquence vidéo

Vous trouverez en annexe la manipulation afin d'utiliser Kinovea. Vous devrez positionner des pastilles réfléchissantes aux endroits prévus sur le mobile et sur le support en bois. Celle sur le mobile sera le point dont vous suivrez le déplacement et les deux autres sur le support serviront à l'étalonnage de distance.

Faites une acquisition du mouvement du mobile en prenant garde de bien respecter les consignes de la partie annexe. De plus veiller à bien régler l'exposition et le gain de la caméra afin que l'image soit la plus contrastée possible. Enfin, prenez garde de bien effectuer les acquisitions à 50 images/secondes.

Traitement des données

Dans Excel, tracer la courbe de la position $x(t)$ en fonction du temps. Quelle fonction doit-on choisir pour modéliser $x(t)$?

Ajouter une courbe de tendance relative à votre choix.

Interpréter les différents termes de la fonction et déterminer la valeur de g .

ETUDE D'UN MOUVEMENT OSCILLATOIRE

TRAVAIL PREPARATOIRE

A - Associations de Ressorts

1. Etablir les relations (11) et (12) donnant l'expression de la raideur equivalente pour chacune des associations de ressorts decrites par les figures 3 et 4.

B – Mouvement uniformément accéléré

- Reprendre l'étude du mouvement uniformément accéléré du TP de la 1^{ère} série mais cette fois dans le cas d'un plan horizontal. Exprimer la position x , la vitesse v et l'accélération a du chariot mobile en fonction du temps, de la masse suspendue et de l'accélération de la pesanteur g .

ETUDE D'UN MOUVEMENT OSCILLATOIRE

BUT DE LA MANIPULATION

Ce travail comporte deux parties indépendantes. La première partie est consacrée à l'étude de mouvements oscillatoires. Il s'agit d'illustrer et de vérifier par des expériences simples quelques résultats élémentaires concernant les oscillations de masses soumises à des forces de rappel de ressorts. La seconde partie est consacrée à l'étude d'un mouvement uniformément accéléré. L'objectif de cette partie n'est pas tant l'étude du mouvement en lui-même que la prise en main d'un logiciel de traitement de données à partir d'une séquence vidéo.

1^{ERE} PARTIE : ETUDE DE MOUVEMENTS OSCILLATOIRES

1. Rappels sur la constante de raideur d'un ressort

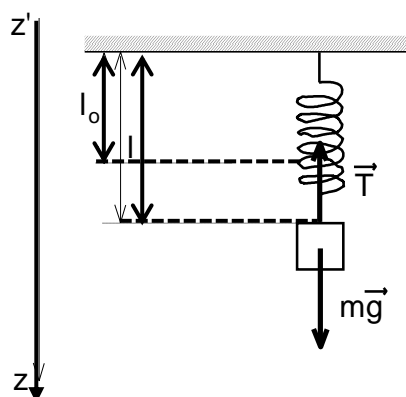


Figure 1 : Dispositif d'étude

On dispose d'un ressort de raideur k et de longueur à vide l_0 suspendu au repos à un support matériel indéformable. On accroche à l'extrémité libre de ce ressort un solide de masse m , le ressort s'allonge sous l'effet du poids $m\vec{g}$ pour atteindre la longueur d'équilibre l (figure 1).

A l'équilibre, la relation fondamentale de la dynamique appliquée au solide s'écrit :

$$m\vec{g} + \vec{T} = \vec{0} \quad (1)$$

\vec{T} représente la force de rappel du ressort qui s'oppose toujours à l'action extérieure exercée. Cette force est proportionnelle à la constante de raideur k et à l'allongement (ou la contraction) du ressort par rapport à sa longueur à vide l_0 . En projetant sur l'axe vertical $z'z$ on obtient une relation entre m , l , l_0 , g et k :

$$mg - k(l - l_0) = 0 \quad (2)$$

Si on écarte le solide d'une distance z_0 (algébrique) par rapport à sa position d'équilibre et qu'on l'abandonne sans vitesse initiale, la relation fondamentale de la dynamique appliquée au solide s'écrit en projetant sur l'axe vertical :

$$mg - k(l - l_0 + z) = m \frac{d^2z}{dt^2} \quad (3)$$

En utilisant la relation à l'équilibre (2), il vient l'équation différentielle du mouvement :

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{k}{m}z = 0 \quad (4)$$

On réalise maintenant le montage de la figure 2 avec le même ressort de raideur k et de longueur à vide l_0 que l'on accroche horizontalement à un support matériel indéformable et à un solide de masse m mobile sur un plan horizontal.

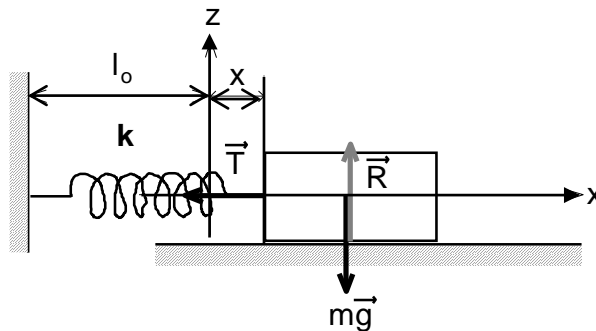


Figure 2 : Dispositif expérimental

On étire le ressort depuis sa longueur à vide l_0 d'une longueur x_0 et on abandonne le mobile sans vitesse initiale. A un instant t , la relation fondamentale de la dynamique appliquée au mobile s'écrit :

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{R} = m\vec{a} \quad (5)$$

\vec{T} représente la force de rappel du ressort qui s'oppose toujours à l'action extérieure exercée. Cette force est proportionnelle à la constante de raideur k et à l'allongement (ou la contraction) x du ressort par rapport à sa longueur à vide l_0 .

\vec{R} représente la réaction du plan horizontal. En l'absence de frottement elle est perpendiculaire au plan et s'équilibre avec le poids du mobile, en projetant (5) sur l'axe vertical $z'z$ on obtient :

$$-mg + R = 0 \quad (6)$$

Le mouvement du mobile se produit dans le plan horizontal donc en projetant (5) sur l'axe $x'x$ on obtient l'équation différentielle du mouvement :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (7)$$

En comparant (4) et (7) on constate que le mouvement du solide est décrit par la même équation différentielle dans les deux cas.

Le solide se met à osciller à la pulsation : $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (8)

avec la période : $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ (9)

en suivant la loi horaire : $x(t) = x_0 \cdot \cos(\omega.t)$ (10)

Association de ressorts en série

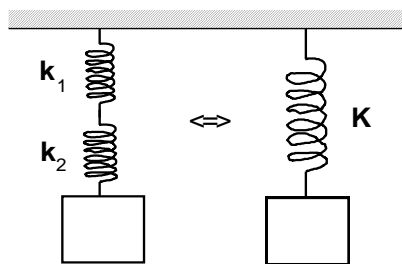


Figure 3 : Association de ressorts en série

Deux ressorts de raideurs k_1 et k_2 en série sont assimilables à un seul ressort de raideur K telle que :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (11)$$

Associations de ressorts sur un plan horizontal

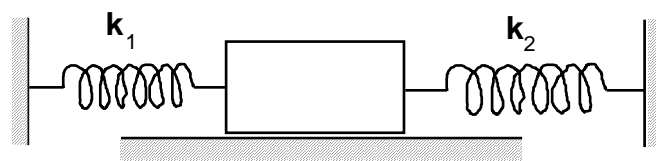


Figure 4 : Association de ressorts horizontal

La résultante des forces de rappel qui s'exercent sur le solide est assimilable à la force de rappel d'un seul ressort de raideur K telle que :

$$K = k_1 + k_2 \quad (12)$$

2. Partie Expérimentale

On va mesurer les constantes de raideur de plusieurs ressorts et vérifier les lois d'associations des ressorts en utilisant la mesure de la période des oscillations.

Mesure de l'allongement à l'équilibre

Suspendre le ressort n°1 (montage de la figure 1) et mesurer sa longueur à vide l_0 .

Suspendre ensuite et successivement plusieurs masses étalonnées et mesurer pour chacune d'elles la nouvelle longueur du ressort au repos l .

Recommencer avec le ressort n°2, puis avec l'ensemble des ressorts n°1 et n°2 en série (montage de la figure 3).

On admettra que l'incertitude de mesure des longueurs est toujours la même $\Delta l = \Delta l_0$.

Exprimer $\Delta(l - l_0)$ en fonction de Δl .

Regrouper les résultats dans un tableau pour chaque montage :

m	Δm	l	Δl	$l - l_0$	$\Delta(l - l_0)$

Tracer les courbes $(l - l_0) = f(m)$ sur le même graphe.

En déduire les valeurs des constantes de raideur k_1 et k_2 des ressorts n°1 et n°2 ainsi que la constante de raideur équivalente K .

On prendra $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$.

Comparer K avec la relation (11).

Mesure de la période des oscillations sur un plan horizontal

Réaliser le montage de la figure 4 en utilisant les ressorts n°1 et n°2 ainsi que le chariot mobile sans frottement avec sa masse additionnelle.

Pour mesurer la période des oscillations on va utiliser le Compteur de Temps avec une seule Cellule Photoélectrique en mode "PEND" (cf Annexe).

Placer la cellule à la position d'équilibre. Ecarter le mobile d'une distance x_0 , appuyer sur la touche RESET et lâcher le mobile sans vitesse initiale. Le premier passage du repère devant la cellule déclenche le comptage du temps, le retour est ignoré et le troisième passage arrête le comptage. Le compteur affiche alors la période de l'oscillation.

On fera plusieurs mesures successives rapprochées de la période des oscillations en appuyant sur la touche RESET après chaque affichage de la période et on prendra la valeur moyenne des résultats.

Que constatez-vous si vous laissez le mobile osciller librement pendant un temps suffisamment long ?
Interprétez cette observation.

Recommencer l'opération en ajoutant successivement plusieurs masses étalonnées sur le chariot mobile.

Regrouper les résultats dans un tableau :

m	Δm	\sqrt{m}	$\Delta(\sqrt{m})$	Tmes	ΔT_{mes}

Tracer la courbe $T = f(\sqrt{m})$ et interpréter.

En déduire la valeur de la constante de raideur équivalente K.

Comparer avec la relation (12).

Le résultat de mesure de T dépend-il de la valeur de l'écartement initial x_0 ?

2^{ème} PARTIE : UTILISATION D'UN LOGICIEL D'ACQUISITION

L'objectif de cette partie est la prise en main d'un logiciel de traitement de données dans le but d'une initiation à l'utilisation d'un environnement intégré sur ordinateur. Le logiciel que nous allons utiliser s'appelle KINOVEA®.

Nous avons choisi d'illustrer cette prise en main par l'exemple simple du mouvement uniformément accéléré d'un chariot mobile sur un plan horizontal tiré par une masse suspendue par l'intermédiaire d'une poulie. L'acquisition des données va être faite sous la forme d'une séquence vidéo enregistrée à l'aide d'une webcam et d'un logiciel d'acquisition.

Acquisition de la séquence vidéo

Vous trouverez en annexe la manipulation la manipulation afin d'utiliser KINOVEA. Vous devrez positionner des patilles réfléchissantes aux endroits prévus sur le mobile et sur le support en bois. Celle sur le mobile sera le point dont vous suivrez le déplacement et les autres sur le support serviront à l'étalonnage de distance.

Faites une acquisition du mouvement du mobile en prenant garde de bien respecter les consignes de la partie annexe. De plus veiller à bien régler l'exposition et le gain de la caméra afin que l'image soit la plus contrastée possible. Enfin, prenez garde de bien effectuer les acquisition à 50 images/secondes.

Traitement des données

Dans excel, tracer la courbe de la position $x(t)$ en fonction du temps.

Quelle fonction doit-on choisir pour modéliser $x(t)$?

Ajouter une courbe de tendance relative à choix.

Interpréter les différents termes de la fonction.

En déduire la période des oscillations T et la constante de raideur équivalente K .

ANNEXE : COMPTEUR DE TEMPS A CELLULES PHOTOELECTRIQUES

Le compteur de temps à deux cellules photoélectriques (figure 8) se compose d'un socle comportant l'afficheur et les réglages du mode de fonctionnement. Sur ce socle est fixé le support orientable de la cellule photoélectrique qui comprend une LED émettrice dans l'infrarouge et une cellule réceptrice qui lui fait face. Le comptage du temps est déclenché ou arrêté par l'interruption du faisceau infrarouge entre l'émetteur et le récepteur.

Le réglage de la position de la cellule par rapport au montage étudié est facilité par la présence d'une LED rouge (figure 9) qui s'allume dès que le faisceau est interrompu.

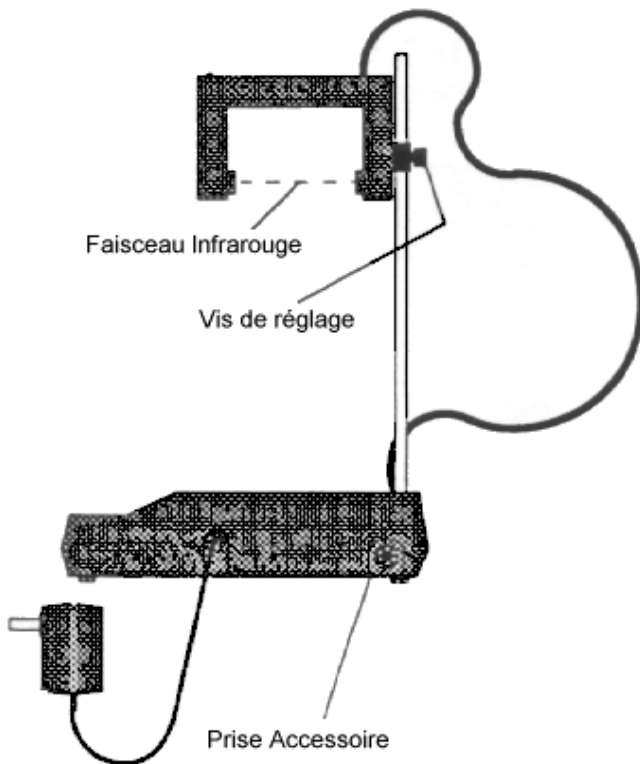


figure 8

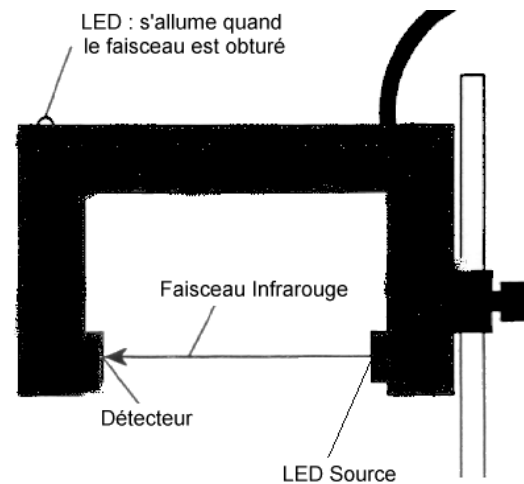


figure 9

Ce dispositif de base peut être complété par une cellule photoélectrique supplémentaire munie de son support orientable (figure 10) qui permet soit de déporter la mesure soit d'effectuer des mesures de temps de trajet entre des points espacés. Cette cellule a les mêmes caractéristiques que la précédente.

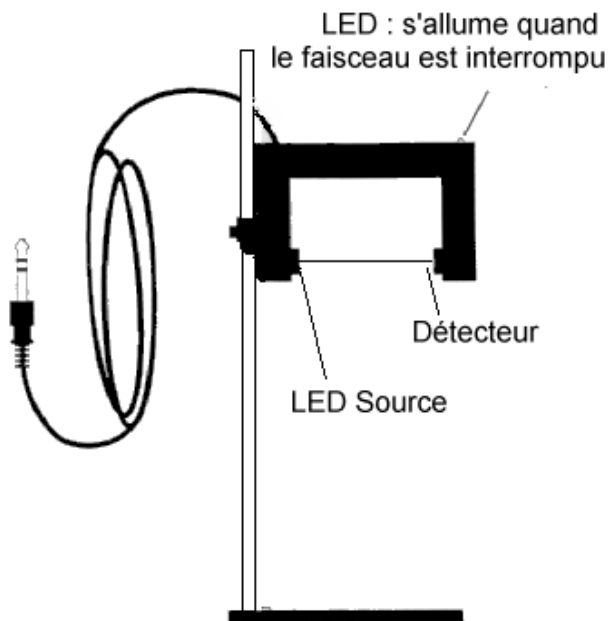


figure 10

Mode opératoire

Mettre le compteur sous tension en basculant le selecteur sur le **mode de fonctionnement** choisi : "GATE", "PULSE" ou "PEND".

Activer la fonction **MEMOIRE** (interrupteur sur ON) pour que la dernière valeur mesurée reste affichée sur l'écran.

Choisir la **sensibilité** de l'appareil à l'aide du sélecteur **0.1 ms / 1 ms**. Avec la sensibilité de 0.1 ms le temps maximum mesurable est de 2 secondes, avec la sensibilité de 1 ms le temps maximum mesurable est de 20 secondes, dans les deux cas la **précision de mesure est de l'ordre de 1 %** (donnée constructeur).

L'interrupteur **START/STOP** permet de déclencher ou d'arrêter manuellement le comptage du temps (fonction "chronomètre").

L'interrupteur **RESET** permet la mise à zéro de l'affichage.

Choix du mode de fonctionnement

Les diagrammes de la figure 11 montrent l'intervalle de temps mesuré pour chaque mode de fonctionnement. Pour chacun le signal bas (0) correspond au cas où le faisceau de la cellule est interrompu (ou lorsque l'interrupteur START/STOP est enfoncé) et le signal haut (1) correspond au cas où le faisceau est libre (et l'interrupteur START/STOP aussi).

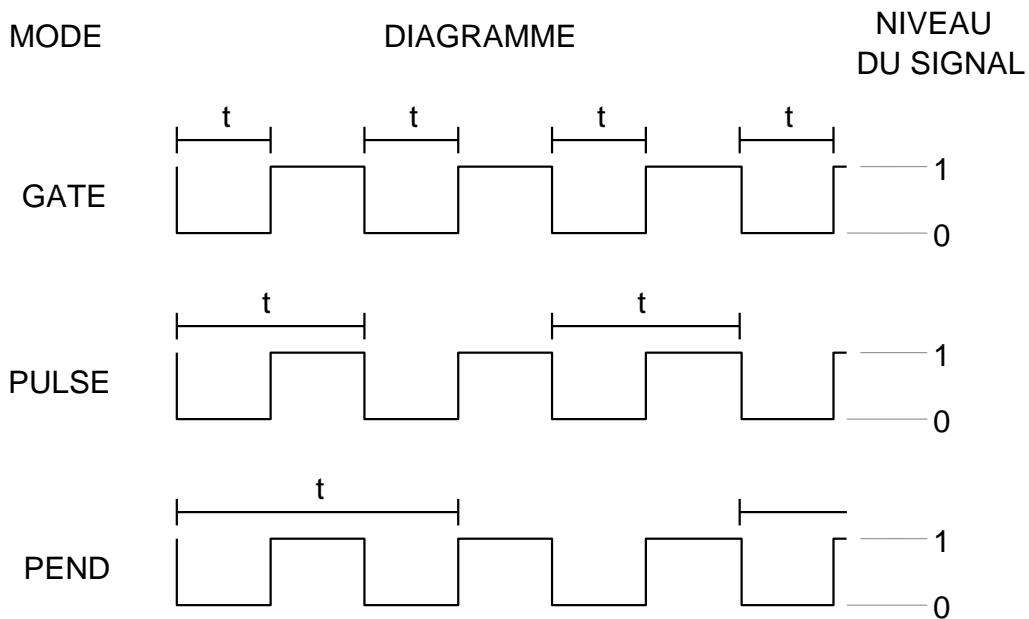


figure 11

Mode GATE : le comptage du temps est déclenché quand le faisceau est interrompu et se poursuit tant que l'interruption dure. Ce mode permet de mesurer la durée du passage d'un objet devant la cellule afin d'en déduire sa vitesse (connaissant ses dimensions).

Mode PULSE : dans ce mode le compteur mesure le temps entre des interruptions successives du faisceau. Le comptage est déclenché par une première interruption du faisceau et se poursuit après sa libération jusqu'à ce qu'une nouvelle interruption se produise. Ce mode peut être utilisé avec une seule cellule pour mesurer le décalage temporel entre deux objets qui vont passer l'un après l'autre devant la cellule ou bien avec deux cellules pour mesurer le temps de trajet d'un objet entre deux points de sa trajectoire. Dans ce cas une cellule déclenche le comptage et la seconde l'arrête.

Mode PEND : dans ce mode dit pendulaire, le compteur mesure directement la période d'une oscillation complète. Le comptage du temps est déclenché par la première interruption du faisceau, le compteur ignore la seconde interruption correspondant au retour de l'objet oscillant et s'arrête lors de la troisième interruption alors que l'objet termine une période de son oscillation.

ANNEXE : UTILISATION DE KINOVEA

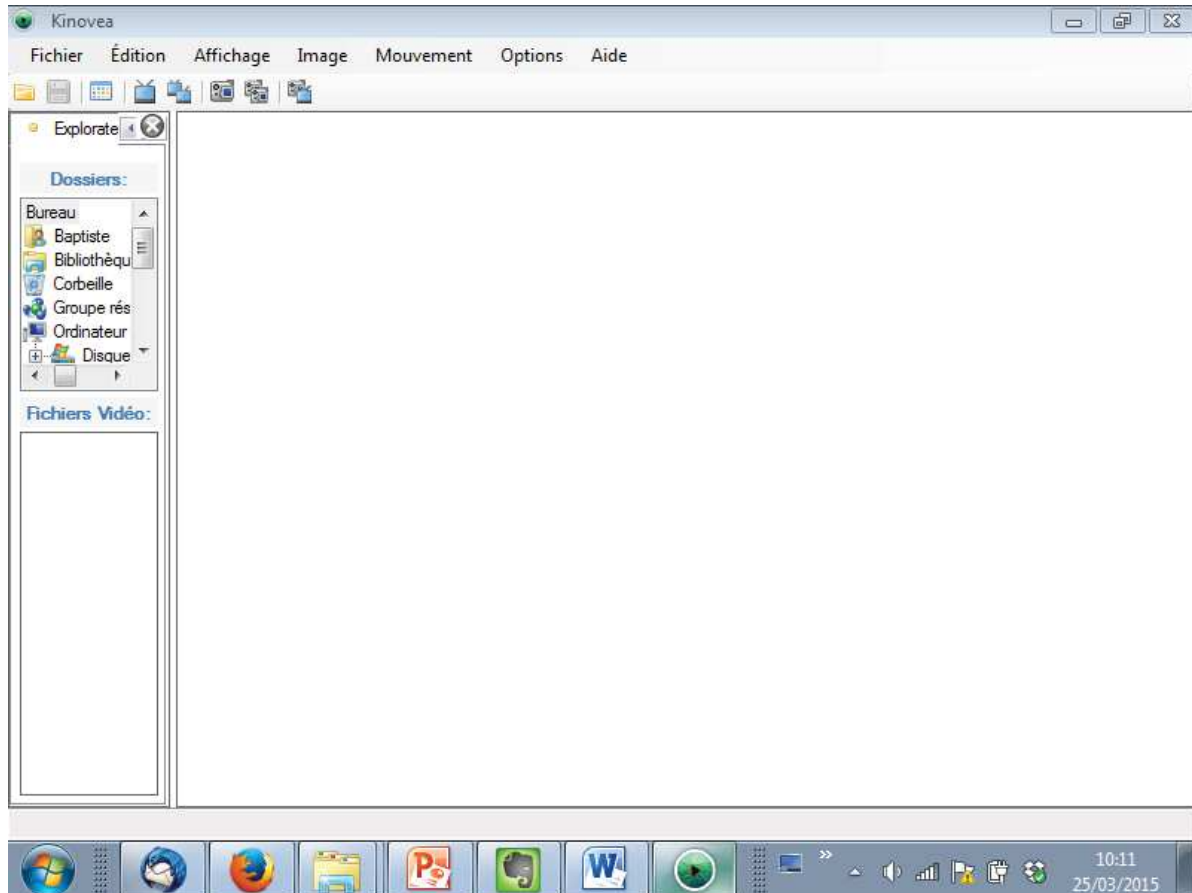
1. ENVIRONNEMENT :



Pour lancer Kinovea, double-cliquer sur l'icône :





La fenêtre suivante s'ouvre alors :



Avant toute utilisation de Kinovea, veuillez faire les réglages suivants :


- ✓ Dans le menu Options/Format des marqueurs temporels, cocher total en milliseconde.
- ✓ Dans le menu Options/Préférences, onglet Capture : vérifier le dossier de sauvegarde des images et des vidéos (choisir le bureau).
- ✓ Grâce à l'explorateur de fichier (partie de gauche) placer vous dans le dossier où seront enregistrées les vidéos

ACQUISITION D'UNE VIDEO



1. Lancer une fenêtre d'acquisition vidéo en cliquant sur l'icône caméra. 
2. Un clic droit sur l'écran de visualisation de la caméra vous permet d'ouvrir le menu contextuel : «Choisir la source».
Dans ce menu :
 - a) Vérifier que celle-ci est bien la caméra : PS3 Eye Camera.
 - b) Vérifier que la configuration de la caméra est de 640×480 px @ 50 fps (50 images/seconde)
 - c) Régler dans l'onglet propriété le gain et l'exposition afin que l'image soit très contrastée.
3. Sur la fenêtre d'acquisition vidéo, saisissez le nom de fichier de la prochaine vidéo à enregistrer dans la case « prochaine vidéo ».
4. Démarrer l'enregistrement vidéo en cliquant sur le point rouge 
5. Terminer l'enregistrement en cliquant au même endroit.
6. La vidéo doit maintenant apparaître dans la partie « Fichiers Vidéo» de l'explorateur.

2. EXPLOITATION D'UNE VIDEO

- Ouverture du fichier

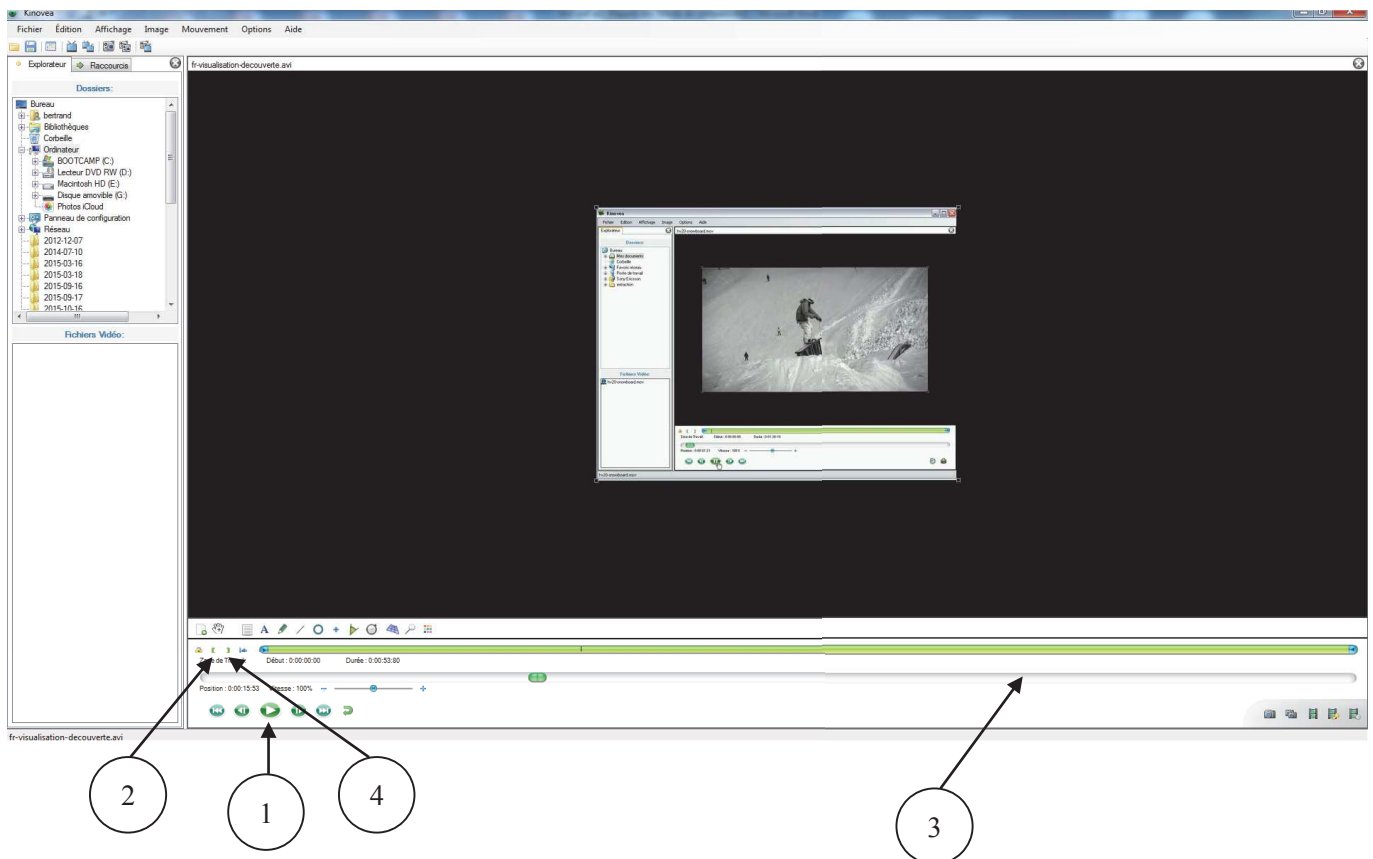
1. Ouvrir une fenêtre de lecture en cliquant sur l'icône Télévision. 
2. Double cliquer dans la partie fichier vidéo sur la vidéo que vous voulez analyser.
3. Double cliquer sur la vidéo pour qu'elle apparaisse en plein écran.

- Étalonnage :

1. Sous l'image choisissez l'outil ligne. 
2. Tracer une ligne entre deux points caractéristiques de l'image et dont vous connaissez l'espacement. Vous aurez pour cela fixé deux pastilles réfléchissantes sur le support en bois fourni espacées de 20 cm.
3. Faites un clic droit sur la ligne, choisissez le menu « étalonner la mesure ». Entrer alors la taille réelle du segment en centimètre.
4. Dans le menu « Image/Origine du repère de coordonnées » ; sélectionner sur l'image l'origine de votre repère de coordonnées
5. Reprendre l'outil « main ». 

- Analyse du mouvement :

1. Lire la vidéo et mettre en pause à l'instant $t = 0$ du mouvement que vous estimez. (utiliser le défilement image par image ou la molette de la souris)
2. Cliquer alors sur le crochet ouvert vert proche de la barre de lecture.
3. Positionner la vidéo sur l'image de fin du mouvement en choisissant la dernière image du mouvement que vous estimez exploitable (mettre en pause)
4. Cliquez sur le crochet de fermeture.
5. Cliquez droit sur l'objet à suivre / choisissez suivi de trajectoire
6. Lancer alors la lecture de la vidéo, vérifier que le logiciel suit bien l'objet.



- Exportation

1. Menu : Fichier/Export Tableur/Trajectoire vers texte simple
2. Enregistrer le fichier sous le nom proposé en .txt sur le bureau.
3. Attention pour ouvrir ce fichier il faut d'abord ouvrir Excel, puis appeler le fichier.