CONSERVATION DE L'ÉNERGIE MÉCANIQUE TOTALE

1 Résumé

Les lois de conservation sont importantes en physique. La plus célèbre est la conservation de l'énergie totale. Dans cette expérience, vous étudierez la conservation de l'énergie mécanique totale (c.-à-d. cinétique et potentielle) à l'aide d'un montage simple: un chariot sur une voie à faible friction auquel une masse est attachée. Ce montage implique le transfert d'énergie potentielle en énergie cinétique.

Nous vous demanderons un calcul d'erreur; prenez donc bien note de toutes les incertitudes.

2 Matériel

Voie à faible friction, chariot muni d'un drapeau (avec l'inscription *Fine Pattern Picket Fence*) et d'une ficelle, mètre à mesurer, masse, photomètre. Le montage expérimental est illustré à la Figure 1. On y montre aussi les vis qui permettent d'ajuster la voie au niveau.

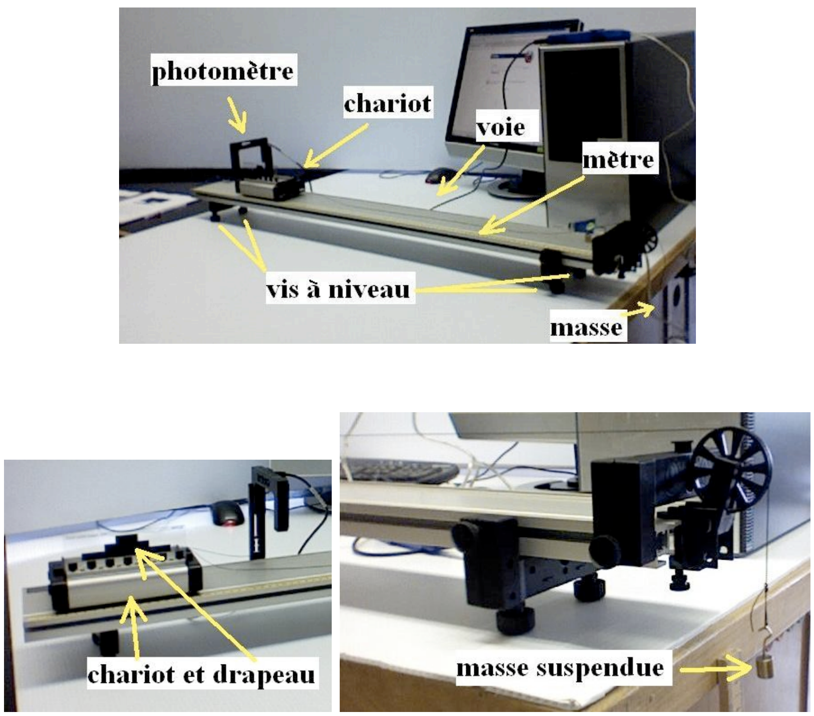

Figure 1. Montage expérimental

3 Théorie

Remarque: Dans ce protocole, ΔX est l'erreur sur X tandis que δX est une différence de X, par ex. longueur, intervalle de temps, etc.

D'après le schéma expérimental de la Figure 2, ci-dessous, vous pouvez vérifier que l'énergie mécanique totale du système *avant* la chute est

$$E_i = m_c g h_{ci} + m_m g h_{mi}, \tag{1}$$

étant donné que l'énergie cinétique est nulle. (Notation: m_c masse du chariot, m_m masse du bloc suspendu, $h_{ci} = h_{cf}$ hauteur du chariot, h_{mi} hauteur initiale de la masse.) *Après* que le bloc soit descendu d'une certaine distance, l'énergie totale est

$$E_f = \frac{1}{2} m_c v^2 + m_c g h_{cf} + \frac{1}{2} m_m v^2 + m_m g h_{mf}. \tag{2}$$

La vitesse finale v est la même pour la masse et le chariot car ils sont reliées par une corde. La hauteur du chariot h_c ne change pas si la voie à air comprimé est au niveau; donc, on a $h_{ci} = h_{cf}$, et l'énergie potentielle du chariot est constante. De $E_i = E_f$, où on néglige la friction, on obtient

$$m_m g h_{mi} = \frac{1}{2} m_c v^2 + \frac{1}{2} m_m v^2 + m_m g h_{mf}. \tag{3}$$

En isolant g, on trouve une valeur à vérifier expérimentalement,

$$g_{\text{exp}} = \frac{(m_c + m_m)\, v^2}{2 m_m \,(h_{mi} - h_{mf})}. \tag{4}$$

C'est la formule que vous utiliserez pour calculer la valeur expérimentale de la gravité, g_{exp}.

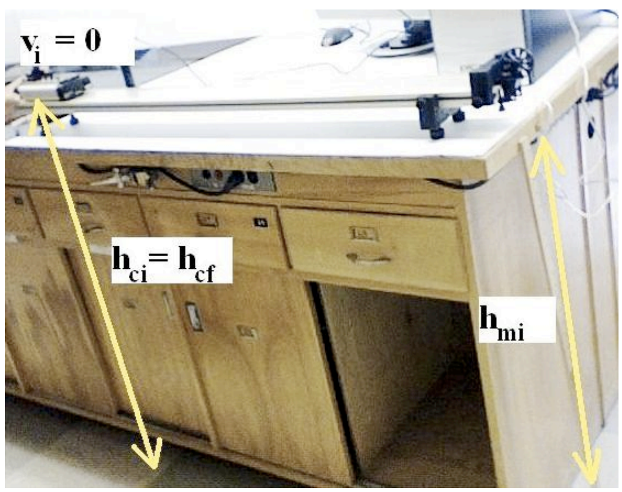

Figure 2. Schéma montrant les hauteurs à mesurer.

4 Manipulations

Étape 1: Préparation du matériel

1. Placez la voie au niveau en ajustant les vis de soutien situées sous la voie (voir Figure 1) de sorte que le chariot demeure pratiquement immobile lorsqu'on le lâche et qu'aucune masse ne lui est attachée. Pour que le chariot ait une énergie potentielle gravitationnelle constante et aucun frottement, vérifiez le niveau dans les deux sens montrés à la Figure 3.

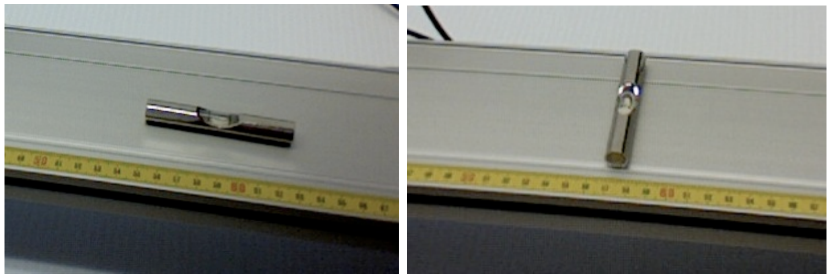

Figure 3. Nivelage de la voie.

2. Mesurez la longueur, δd, du "drapeau" avec l'erreur, $\Delta(\delta d)$, à la Figure 4. Il s'agit du petit rectangle opaque *supérieur* illustré ci-dessous. Cette quantité permettra de déterminer v_{exp}.

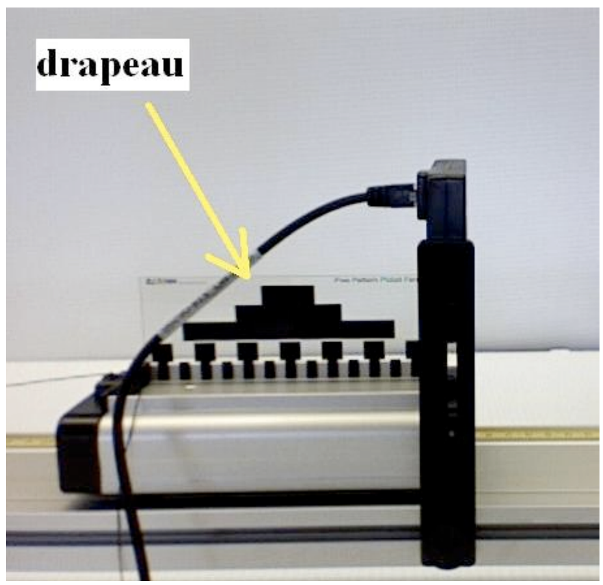

Figure 4. Drapeau: partie opaque qui bloquera le signal du photomètre pendant le passage du chariot.

3. Mesurez la masse du chariot, m_c, incluant le drapeau et la ficelle. L'incertitude sur la masse du chariot, Δm_c, peut être considérée négligeable. Mesurez aussi la masse, m_m, du bloc suspendu; vous pourrez utiliser une masse de 10 g ou de 20 g. Notez l'incertitude sur la masse, Δm_m.

   À partir de la page suivante, on vous montre comment utiliser le programme d'ordinateur relié à la voie afin de recueillir la durée du passage du chariot devant le photomètre.

4. Suivez les étapes à l'ordinateur tel qu'illustré ci-dessous. Pour commencer, cliquez sur le symbole *PASPortal* (indiqué par une longue flèche vers le bas) sur la barre d'outils, et vous devriez voir l'écran de la Figure 5. Cliquez alors sur *Launch DataStudio*, indiqué par la flèche oblique.

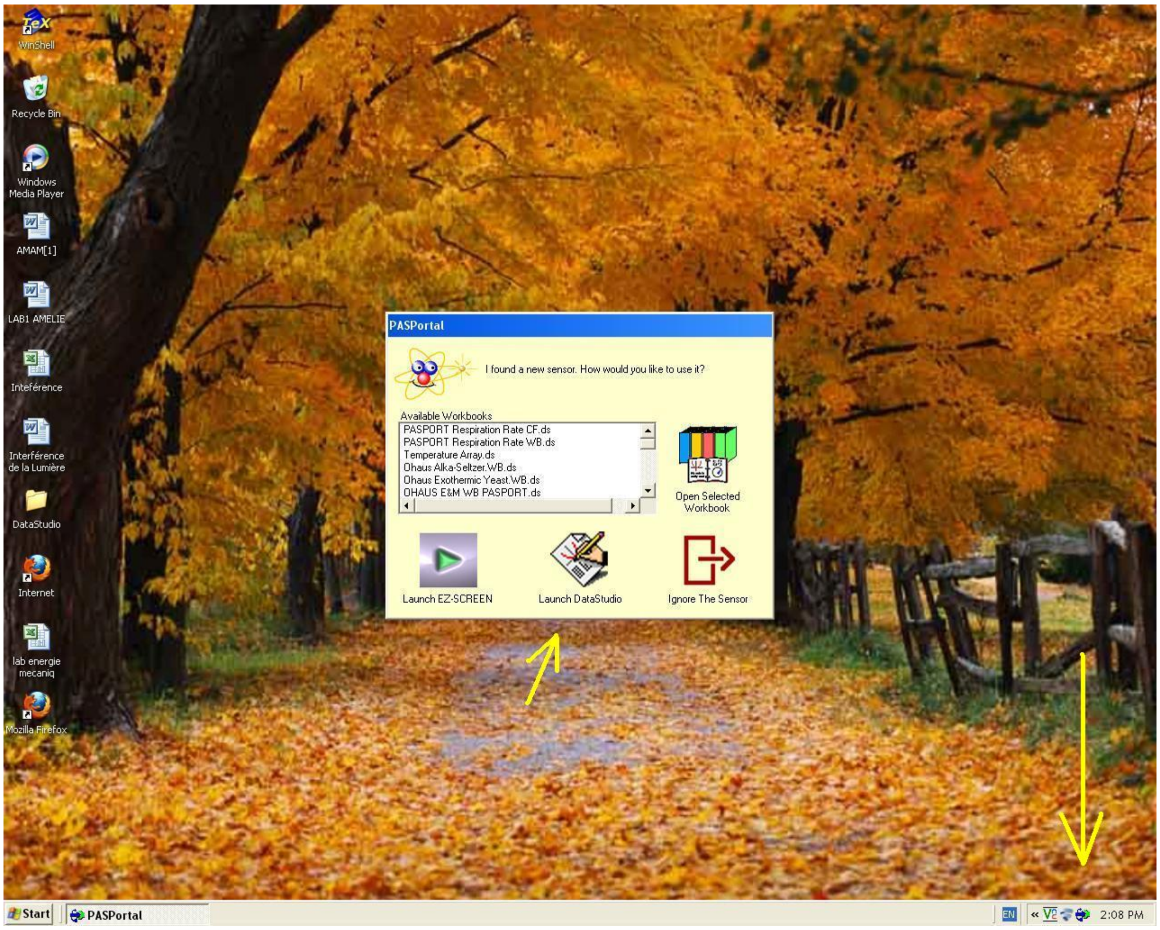

Figure 5. Cliquez sur *Launch DataStudio*, indiqué par la flèche oblique.

5. Vous verrez ensuite l'image ci-dessous. Cliquez sur *Photogate Timing*, indiqué par une flèche, à la Figure 6.

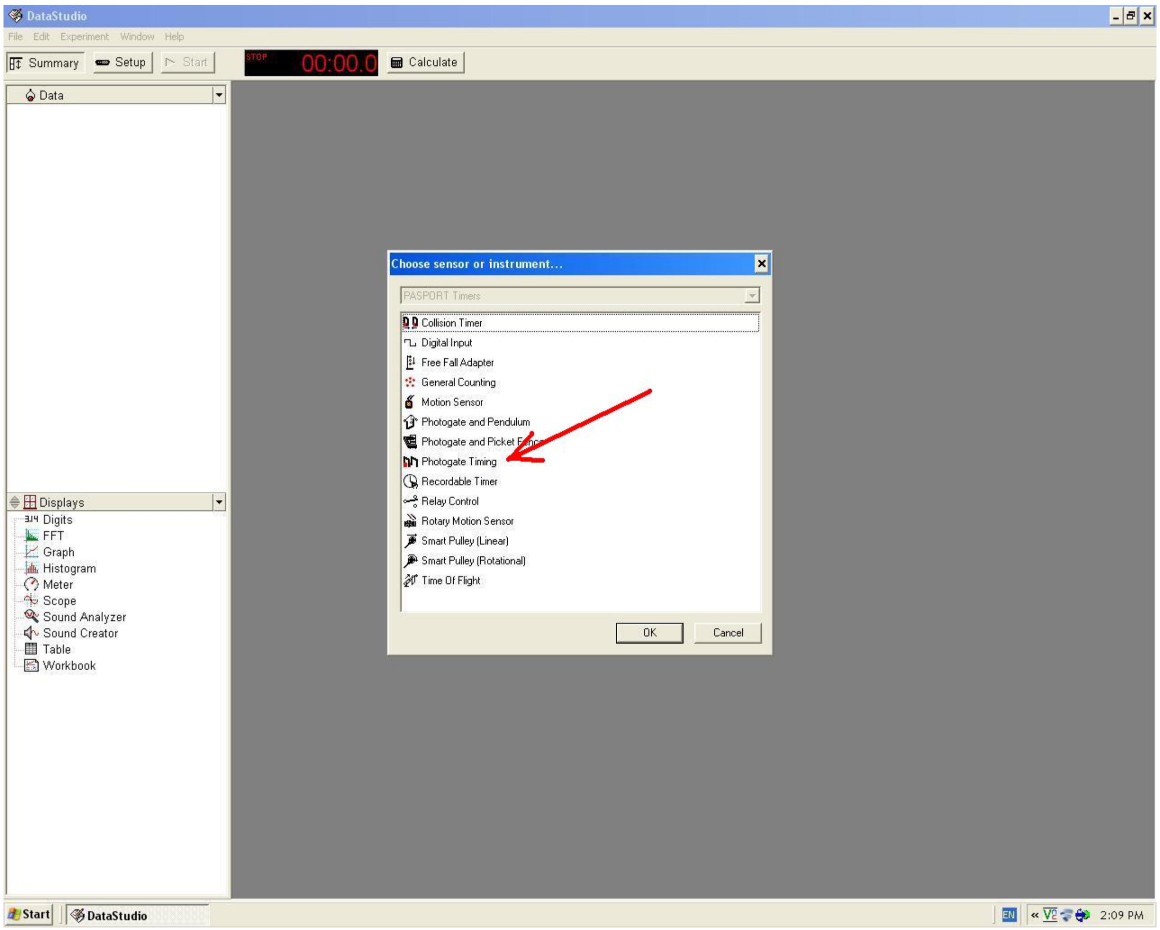

Figure 6. Cliquez sur *Photogate Timing*, indiqué par la flèche oblique.

6. Quand vous voyez l'image de la Figure 7, cliquez sur *Setup*.

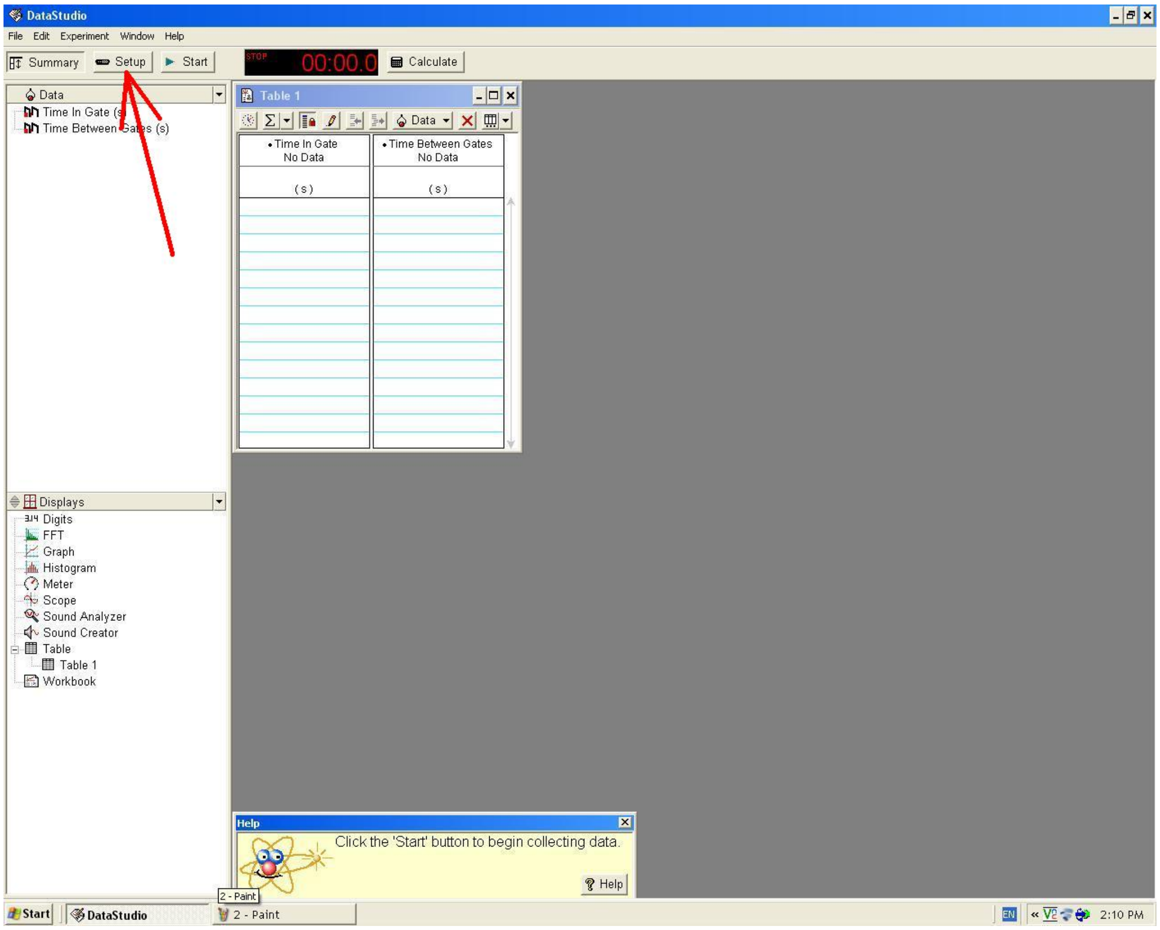

Figure 7. Cliquez sur *Setup*, indiqué par la flèche.

7. Quand votre écran est tel qu'illustré à la Figure 8, cliquez sur *Time Between Gates* pour qu'*il ne soit pas coché* (flèche du centre). Fermez ensuite cette boite de dialogue (flèche du haut), puis cliquez sur *Table* (flèche du bas).

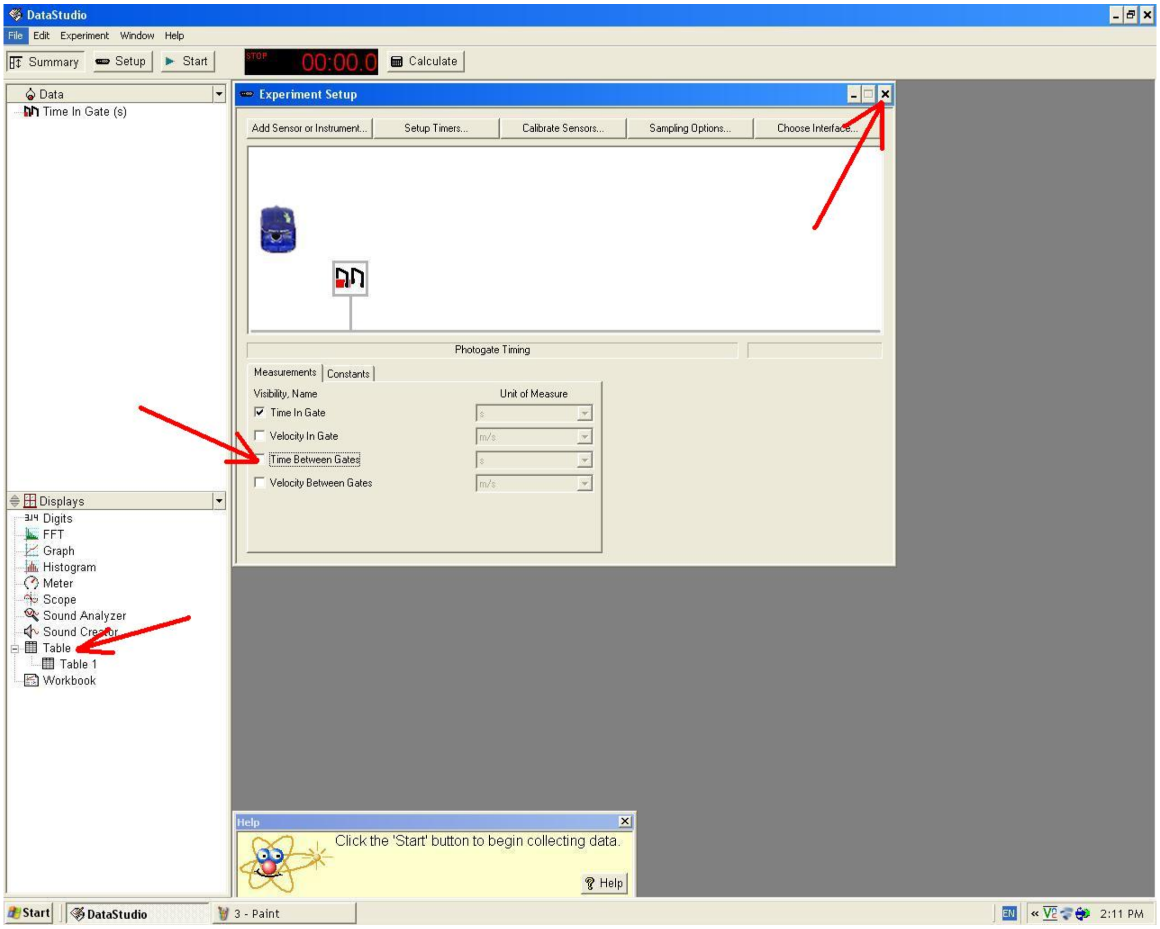

Figure 8. Cliquez sur *Setup*, indiqué par la flèche.

8. Votre écran montrera l'image de la Figure 9. Cliquez sur *Start*.

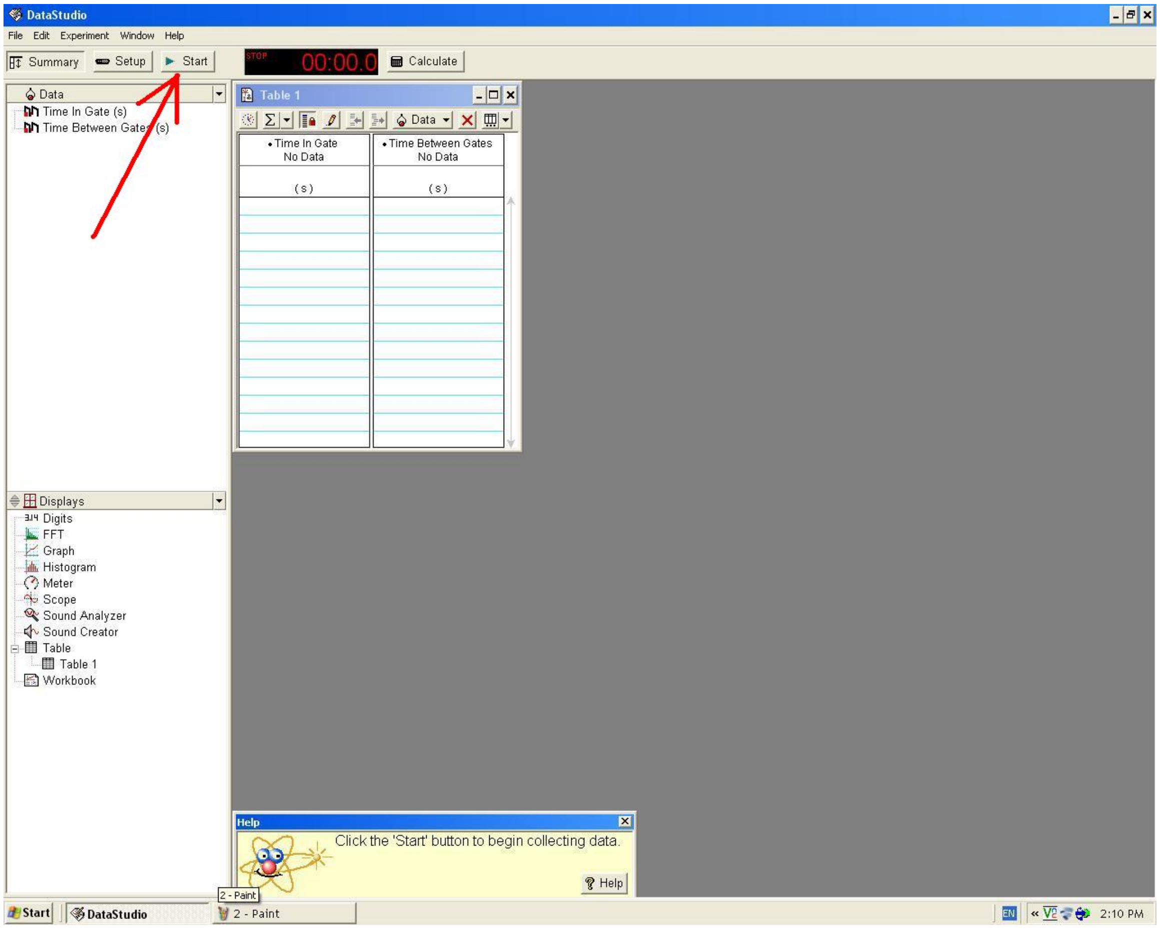

Figure 9. Cliquez sur *Start*, indiqué par la flèche.

9. Vous êtes maintenant prêts à prendre vos mesures. Quand vous laisserez tomber la masse attachée à la ficelle, elle entraînera le chariot et la durée du passage du drapeau devant le photomètre sera enregistré par l'ordinateur. Essentiellement, vous mesurerez ainsi la vitesse du chariot à différentes positions (avec *trois* mesures pour chaque position!), et utiliserez ces données avec l'équation (4) pour trouver g_{exp}.

10. Installez le chariot à l'extrémité gauche de la voie et attachez y la ficelle reliée à l'autre bout à la petite masse fournie m_m (10 ou 20 grammes). Tel qu'illustré à la Figure 10, la première série de lectures est prise avec le *centre du chariot* aligné initialement avec la position 10 cm et le *photomètre* aligné avec la position 20 cm. Notez l'erreur sur ces positions.

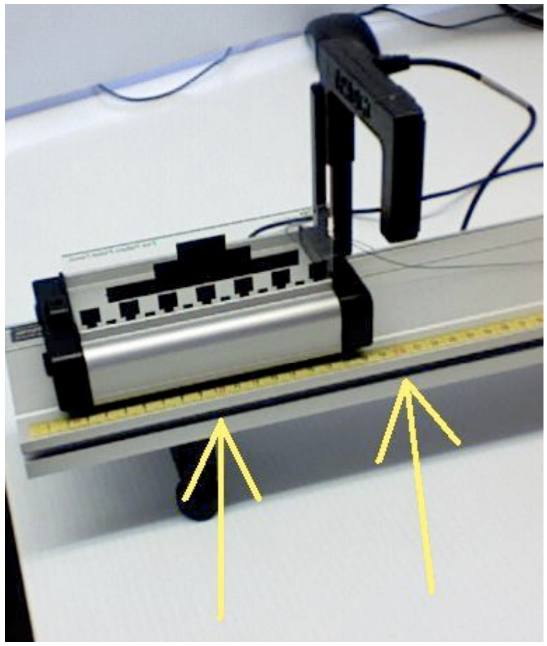

Figure 10. Chariot et photomètre à la première position initiale.

11. Comme le photomètre se trouve à 10 cm de la position initiale du chariot (Figure 10), la durée lue par le photomètre vous donnera donc la vitesse du système chariot-bloc après un déplacement de 10 cm.

12. Amenez le chariot sous le photomètre et vérifiez que le temps augmente sur le compteur du photomètre (voir Figure 11). La lumière rouge du photomètre devrait être alignée avec le rectangle supérieur, montré par la flèche à la Figure 11. Vous êtes prêts à prendre vos données.

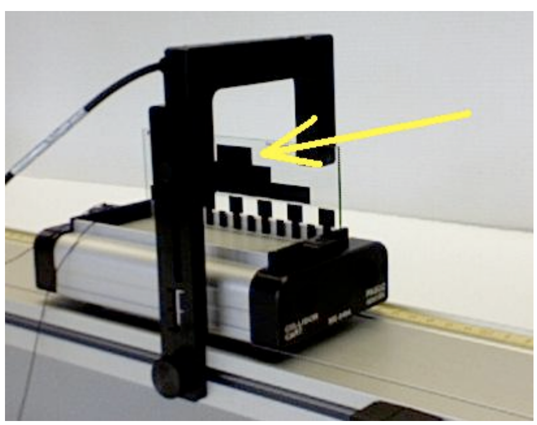

Figure 11. Chariot aligné avec le photomètre, pendant lequel le compteur est activé.

13. Tel qu'illustré à la Figure 12, toutes les séries de lectures seront prises avec le centre du chariot aligné initialement avec la position 10 cm (flèche de gauche), mais le photomètre sera successivement aligné avec les positions 30 cm, 40 cm, ..., 100 cm (flèche de droite). Ceci constituera un total de neuf séries de mesures (avec trois mesures par position).

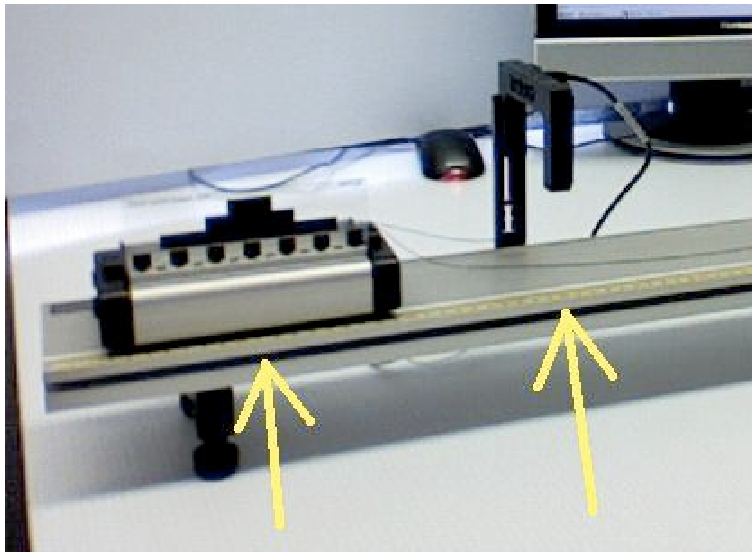

Figure 12. Positions suivantes du photomètre.

Étape 2: Collecte de données

1. La position initiale du système est lorsque le centre du chariot est aligné avec la position 10 cm de la voie (flèche gauche de la Figure 12). Mesurez alors la hauteur de la masse, h_{mi}, attachée à la ficelle. Notez l'incertitude sur cette mesure Δh_{mi}. Remarquez que la hauteur initiale de la masse, h_{mi}, rester constante; c'est sa hauteur finale, h_{mf}, qui changera entre chaque séries de mesures (elle sera réduite de 10 cm à chaque fois).

2. Pour la première série de mesures, vérifiez que le photomètre soit à 10 cm du chariot, donc, à la position 20 cm (flèche droite de la Figure 12).

3. Laissez tomber le chariot. Le temps de passage, δt, sera enregistré par le logiciel. Ceci vous donnera la vitesse expérimentale v_{exp}, car $v_{\text{exp}} = \frac{\delta x}{\delta t}$, δx étant la longueur du drapeau supérieur, déjà mesuré. Répétez pour obtenir un total de trois valeurs du temps de passage δt. Calculez la moyenne du temps de passage, δt, et déterminez son erreur $\Delta(\delta t)$.

   - L'erreur sur la moyenne du temps de passage du drapeau $\Delta(\delta t)$ est égale à l'écart le plus grand de |observée−moyenne|.
   - La valeur de l'erreur ne peut pas être plus petite que l'incertitude de l'instrument utilisé.

4. Répétez les étapes 2 à 3 en changeant la position du photomètre pour que la distance initiale entre le chariot (toujours centré à 10 cm) et le photomètre (position modifiée) augmente par sauts de 10 cm, et donc 20 cm, 30 cm, etc. Vous obtiendrez ainsi le temps de passage δt de neuf différentes hauteurs finales de la masse, h_{mf}. Ne mesurez pas h_{mf} à chaque fois, soustrayez plutôt 10 cm, en tenant compte de l'incertitude.

5 Résultats et Analyse

1. Pour chaque hauteur de la masse h_m (la hauteur initiale h_{mi} et les hauteurs finales, h_{mf}), déterminez:

   - la vitesse v_{exp} et son erreur $\triangle v_{\text{exp}}$, c.-à-d. la valeur mesurée,
   - la vitesse théorique $v_{\text{théo}}$, obtenue de l'équation (3) en prenant g=9.81m/s^2),
   - l'énergie potentielle de la masse $E_{P,m}$ et son erreur $\triangle E_{P,m}$,
   - l'énergie cinétique totale du système masse-chariot $E_{K,m+c}$ et son erreur $\triangle E_{K,m+c}$,
   - l'énergie mécanique finale E, et son erreur $\triangle E$, selon l'équation (3), c'est-à-dire *l'énergie mécanique totale du système en omettant l'énergie potentielle du chariot* puisqu'elle est égale avant et après la chute, et
   - la valeur expérimentale de la gravité g_{exp} et son erreur $\triangle g_{\text{exp}}$.

2. Sur un graphique de l'énergie en fonction de la hauteur de la masse h_m, tracez les trois droites suivantes:

   - la droite de l'énergie potentielle de la masse $E_{P,m}$,
   - la droite de l'énergie cinétique de masse+chariot $E_{K,m+c}$,
   - la droite de l'énergie mécanique E (l'énergie mécanique totale du système *en omettant l'énergie potentielle du chariot*).

6 Questions

(Insérez vos réponses dans la section *Analyse des résultats* de votre rapport.)

1. Tracez les droites prédites de l'énergie potentielle E_P, l'énergie cinétique E_K et l'énergie mécanique E sur un graphique de l'énergie en fonction de la hauteur de la masse h_m. Tracez ces trois droites sur un même graphique.

2. En utilisant les équations (1) et (2), effectuez les calculs qui permettent d'obtenir l'équation (4).

3. À partir de l'équation (4), déterminez l'équation permettant de calculer la valeur théorique de la vitesse $v_{\text{théo}}$.

4. Dérivez l'expression algébrique de l'erreur de l'énergie potentielle de la masse $\triangle E_{P,m}$, de l'erreur de l'énergie cinétique du système masse-chariot $\triangle E_{K,m+c}$ et de l'erreur de l'énergie mécanique totale $\triangle E$ (l'énergie mécanique totale du système *moins* l'énergie potentielle du chariot).