

Lab 7: Conservation de l'énergie

Buts

- Vérifier qu'en présence de forces conservatives et en l'absence de forces dissipatives, l'énergie mécanique demeure constante.
- Distinguer les trois types d'énergie mis en jeu dans cette expérience : (1) l'énergie cinétique (2) l'énergie potentielle gravitationnelle et (3) l'énergie potentielle élastique du ressort.
- Montrer qu'au cours de l'expérience, les trois types d'énergie étudiés sont transférés d'un type à l'autre.

Matériel

Rail à coussin d'air comprimé.

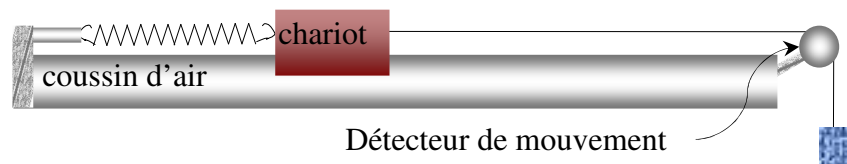
Chariot glissant sans frottement sur le rail.

Ressort et ensemble de masses

Mètre et support réglable.

Ensemble d'enregistrement Pasco avec un détecteur de rotation.

Théorie



Dans un premier temps, nous allons mesurer l'élongation du ressort à différentes forces dans le but de déterminer sa constante d'élasticité k et le point neutre du ressort. Une fois connue les constantes k et x_0 , nous serons prêts pour procéder à l'enregistrement des données de position pour la conservation de l'énergie. Ensuite, nous démarrerons le mouvement le plus proche possible de x_0 de façon à ce que l'énergie potentielle élastique soit considérée nulle au point de départ, comme dans la formule théorique. Le point de départ sera donc $x = x_0$ sur la règlette (par contre, notre détecteur s'ajuste automatiquement à $x = \text{zéro}$ lorsqu'on clique sur «démarrer»). L'énergie potentielle élastique du ressort est alors donnée par

$$U_r = \frac{1}{2} k x^2$$

où k est la constante du ressort en Newtons par mètre .

et x est l'élongation du ressort mesurée directement par le détecteur.

Au début du mouvement, les deux masses sont immobiles. Sous l'action de la gravité, la masse suspendue va se déplacer vers le bas, entraînant le chariot dans son mouvement. On calcule l'énergie potentielle gravitationnelle de la masse suspendue à partir de sa position initiale :

$$U_g = - m_s g x$$

où m_s est la masse suspendue et x est la distance franchie par la masse suspendue.

À noter que puisque U_g doit diminuer en descendant, nous devons la mettre négative. Car dans cette équation, nous savons que le détecteur part à zéro, et nous comprenons aussi que x est une élongation positive. Donc l'expression de U_g fera en sorte que sa valeur maximale soit zéro au point de départ et qu'elle soit toujours négative (la masse reste toujours en dessous de sa position initiale). À noter que l'énergie potentielle gravitationnelle est donnée à une constante près. Autrement dit, on pourrait ajouter n'importe quelle valeur constante U_o à cette équation et elle resterait valide.

L'énergie potentielle de notre système est alors

$$U_{tot} = U_r + U_g + U_o$$

où U_o est une constante d'ajustement pour l'énergie potentielle gravitationnelle. Au début, on lui donne la valeur zéro.

Le mouvement vertical de la masse suspendue est le même que le mouvement horizontal du chariot. L'énergie cinétique du système des deux masses est donc

$$K = \frac{1}{2} (m_s + m_c) v^2$$

où m_s est la masse suspendue; m_c est la masse du chariot et v est la vitesse du chariot ou de la masse suspendue. L'énergie mécanique du système (qui devrait demeurer constante) sera alors donnée par

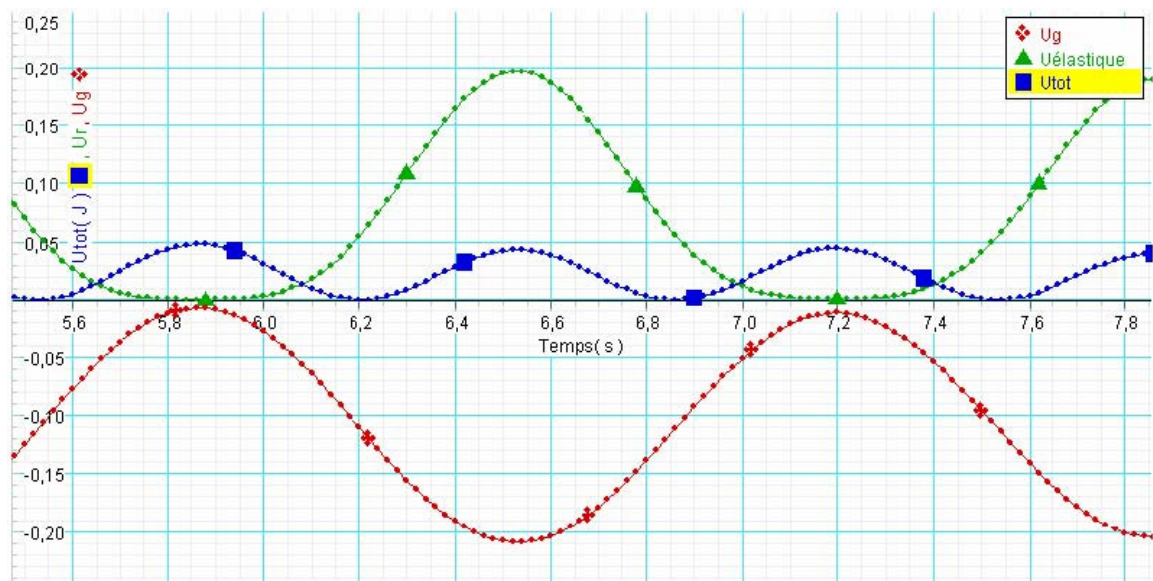
$$E = U_{tot} + K$$

Manipulation

- Ajustez soigneusement le rail à l'horizontal.
- Suspendez différentes masses entre 20 et 200 grammes au bout de la poulie (en branchant le coussin d'air) et notez la position d'équilibre du chariot à chaque fois. Vous pouvez utiliser directement les valeurs lues sur la règle fixée au chariot. Dans Excel, faites un graphique du module de la force en fonction de la **position** du chariot (et non en fonction de l'élongation; ne soustrayez rien). Ce graphique donne une belle droite et la pente de cette droite est la constante du ressort. Attention aux unités : on veut une constante en Newtons par mètre. La droite ne passe pas par l'origine, car la position du ressort détendu ne sera pas zéro sur le rail. Nous avons besoin de la pente et de **l'abscisse à l'origine** (= la position du chariot qui correspond à une force nulle; c'est la position d'équilibre x_0). (Vous devez compléter cette partie avant de continuer).
- Maintenant, nous allons faire osciller notre masse. Les forces en jeu sont l'élasticité du ressort (loi de Hooke) et la gravitation, deux forces conservatives. Le frottement est faible.
- Mesurez la masse du chariot et la masse suspendue.
- Calibrez le détecteur de mouvement pour qu'il enregistre la position et la vitesse 50 fois par seconde.
- Essayez de retenir le chariot le plus près possible de la position d'équilibre que vous avez tirée du graphique précédent. Démarrez l'enregistrement, attendez une seconde, puis laissez aller le chariot. Utilisez une masse suspendue entre 80 g et 120 g.
- Sur l'enregistrement de la position, on devrait voir la position initiale immobile, puis au moins quatre ou cinq aller-retour du chariot.
- Vous allez maintenant faire les calculs des différents types d'énergie avec Data Studio, puis l'énergie totale, et afficher les 3 courbes sur le même graphique.
- Cliquez sur le bouton "calculer" de la barre d'outils.
- Entrez la valeur de U_0 , m_s et m_c dans "constantes expérimentales". Pour chaque constante, il faut faire "nouveau" puis "accepter". Attention aux unités; au début, $U_0 = 0$.
- Ensuite entrez les calculs d'énergie. Pour chaque formule, il faut faire "nouveau" puis "accepter". Par exemple, pour l'énergie cinétique, vous entrez $K = 0.5*v*v*(m_c+m_s)$. Quand vous faites "accepter", vérifiez que les valeurs des variables du calcul sont

correctes. Elles sont affichées dans l'espace "variables" sous la formule. Si une variable n'est pas définie, vous verrez dans cet espace "veuillez définir la variable xx ". Pour le calcul de l'énergie potentielle totale, ou celui de l'énergie mécanique, vous pouvez définir comme variable, le résultat d'un calcul précédent.

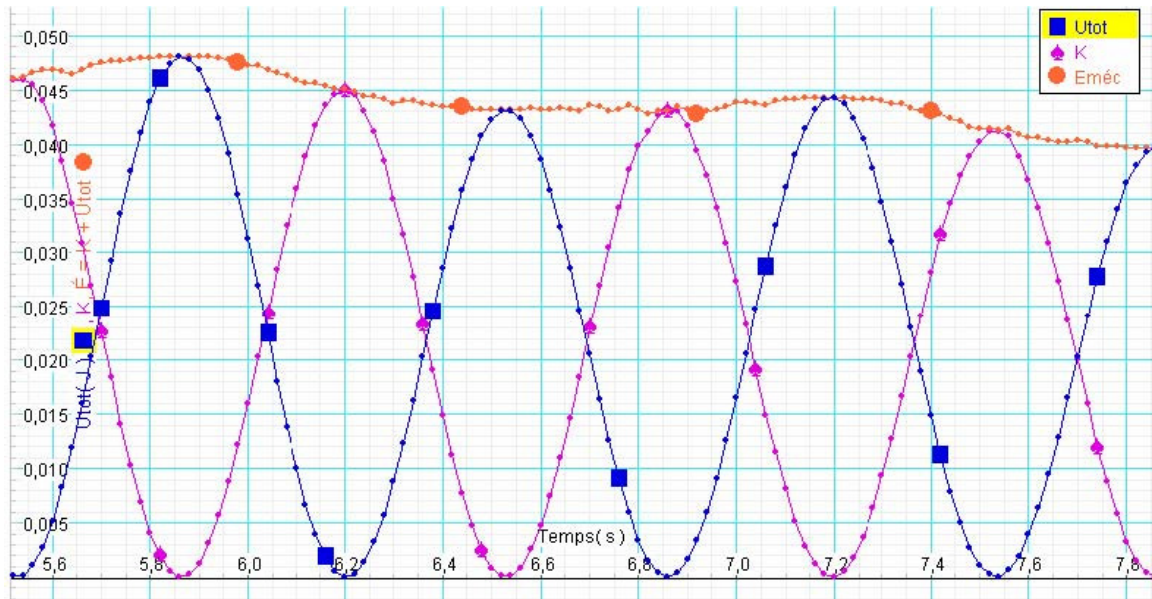
- Pour l'énergie potentielle totale, nous avons mis $U_o = \text{zéro}$ comme valeur initiale, ce qui donne des valeurs toujours négatives. Car le mouvement débute au point le plus haut de la trajectoire de la masse suspendue. Nous allons replacer cette courbe pour qu'elle soit toujours positive. Voici comment. Allez voir avec l'outil d'analyse sur le graphique, quelle est la plus petite valeur atteinte par U_{tot} . Mettez cette valeur (positive, cette fois) comme valeur pour U_o . NOTE: Il faut appuyer sur "accepter" pour que la nouvelle valeur de la constante soit ajustée dans le calcul et apparaisse sur le graphique. Notez cette constante dans votre cahier.
- Alors votre courbe d'énergie potentielle totale commencera avec une valeur nulle et augmentera jusqu'à un maximum pour revenir ensuite à zéro. Imprimez un graphique des énergies potentielle –gravitationnelle, –élastique et –totale. Comme ceci :



- Vous devriez obtenir un graphique qui ressemble à celui-ci, où on voit un aller-retour du chariot entre 6 et 7 secondes (voir courbe de U_g).
- Ensuite, vous imprimerez sur un deuxième graphique, les courbes de K , U_{tot} et $E_{méc}$. Assurez-vous que vous avez gardé les mêmes plages de temps pour les deux courbes.
- Faites le lissage de la courbe d'énergie mécanique totale avec 30 à 50 points.
- Analyse: décrivez en détail comment l'énergie se répartit entre les 3 formes, potentielle

gravitationnelle, potentielle élastique et cinétique, dans les différentes parties du mouvement. Mettez des repères sur votre graphique pour illustrer votre analyse. Choisissez trois ou quatre instants différents, lisez les valeurs de chaque courbe et montrez que les valeurs respectent la loi de la conservation de l'énergie sous la forme de l'équation 8,9.

- Analyse : Après quelques oscillations complètes, on peut voir l'effet du frottement sur le graphique. Décrivez et expliquez ce que vous voyez sur votre graphique.



À retrouver dans le cahier de lab :

- Le tableau des mesures, le graphique de $F(x)$, la valeur de la constante du ressort, de l'abscisse à l'origine.
- Un autre tableau des données du mouvement (incluant toutes les constantes utilisées dans les formules de Data Studio) ainsi que les formules exactes que vous avez utilisées pour calculer toutes les énergies.
- Le graphique des énergies potentielles.
- Le graphique des énergies cinétique, potentielle totale et mécanique.
- L'analyse des graphiques incluant les valeurs à trois ou quatre points du temps. Référez-vous à la page 458; figure 15,10. Même si nous n'avons pas vu toute la théorie expliquée dans ce chapitre, il s'agit bel et bien de la même situation.
- Une courte conclusion en vous basant sur les buts. Qu'avez-vous démontré dans cette manipulation ?