

Anjali Ahooja · Corina Toma · Damjan Štrus · Dionysis Konstantinou · Maria Dobkowska · Miroslaw Los
Elèves: Nandor Licker et Jagoda Bednarek



C

Corps oscillants



INTRODUCTION

Nous sommes entourés d'objets qui oscillent. Chaque son est produit par une source qui oscille. Étudier une oscillation n'est pas très simple mais nous allons essayer à l'aide des mouvements d'un ressort et d'un pendule.

La séquence est susceptible d'être utilisée par les élèves de 14 à 16 ans (niveau I) et par des élèves de 17 à 19 ans (niveau II). Les domaines d'intervention sont les suivants : physiques, mathématiques et Technologies de l'Information et de la Communication.

Niveau I

Les élèves installent le ressort ou le pendule et les font osciller, observent leurs mouvements simples et enregistrent les oscillations avec une caméra vidéo ou une caméra de téléphone portable. À l'aide de Tracker ou de VirtualDub (voir annexe), ils analysent les vidéos (séquence par séquence) pour spécifier le caractère du mouvement (et la dépendance temporelle du déplacement). À partir de cette analyse vidéo et graphique, les élèves sont capables de trouver la fréquence, la période, l'amplitude et de déterminer la constante du ressort ou l'accélération de la gravité pour un pendule.

Niveau II

A : Les élèves doivent réaliser les mêmes étapes que les élèves plus jeunes mais peuvent analyser les graphiques plus en détails. À partir de l'analyse vidéo et graphique, les élèves peuvent observer les changements de phases pour le déplacement et sont capables de trouver les quantités suivantes : fréquence, période, amplitude, vitesse, accélération et leurs dépendances temporelles. Ils peuvent également vérifier la Loi de conservation de l'énergie mécanique.

B : Les élèves doivent ajouter un accéléromètre au corps en oscillation. Ils peuvent enregistrer les valeurs d'accélération et, à partir de ces valeurs, calculer la période, la vitesse, l'amplitude, le déplacement cinétique et les énergies potentielles. Ils tracent ensuite des graphiques et peuvent vérifier les paramètres du même déplacement à travers ces deux méthodes : la première par différenciation (déplacement → vitesse → accélération) et la seconde par intégration (accélération → vitesse → déplacement).

RESSOURCES

Pour pouvoir utiliser cette unité, les élèves ont besoin : d'une caméra vidéo numérique, webcam ou caméra de téléphone portable; une règle ou tout autre type de grad-

uation (pouvant être affichée suffisamment près du corps oscillant et étant visible sur la vidéo); différents ressorts, 3 à 4 masses différentes accrochées à un ressort; 3 à 4 pendules de différente longueur, un PC ou ordinateur portable; un logiciel d'analyse vidéo, par exemple : Tracker ou VirtualDub; the Java application «Osc» at www.science-on-stage.de.

CONTENU

Les systèmes oscillants mécaniques simples se composent d'un corps de masse m accroché à un ressort ou à un pendule (petit angle oscillant). La propriété d'inertie de la masse m entraîne le dépassement du point d'équilibre du système. En appliquant la seconde loi de Newton au corps oscillant, on obtient l'équation de mouvement du système.

Les élèves doivent réviser les formules de différentes grandeurs physiques.

Niveau I

Les élèves du premier niveau doivent réviser les grandeurs physiques suivantes :

- La période du ressort : $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, où m est la masse du corps oscillant ;
- La période du pendule $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$, où ℓ est la longueur du pendule, g l'accélération gravitationnelle.

Niveau II

Les élèves du second niveau doivent réviser les quantités physiques suivantes :

- Force élastique : $F = kx$, où k est la constante du ressort; x est le déplacement du corps oscillant ;
- Les périodes : pour le ressort $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, où m est la masse du corps oscillant, pour le pendule $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$, où ℓ est la longueur du pendule, g l'accélération gravitationnelle ;
- Déplacement du corps oscillant dans un mouvement harmonique simple : $x = A \sin(\omega t + \phi)$, où A est l'amplitude, ω la fréquence angulaire et ϕ la constante de phase ;





▮ Déplacement du corps oscillant dans une oscillation amortie : $x = Ae^{-(b/2m)t} \cos(\omega t + \Phi)$ avec $\omega' = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m^2}}$, où b est le coefficient d'amortissement visqueux ;

▮ Vitesse du corps oscillant : $v = \omega A \cos(\omega t + \varphi)$;

▮ Accélération du corps oscillant : $a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \varphi)$;

▮ L'énergie mécanique totale peut être écrite comme la somme de l'énergie potentielle et cinétique :

$$\text{pour le ressort } E_m = E_p + E_k = \frac{ky^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

$$\text{pour le pendule } E_m = E_p + E_k = mg\Delta h + \frac{mv^2}{2}$$

Expérience pour niveaux I et II

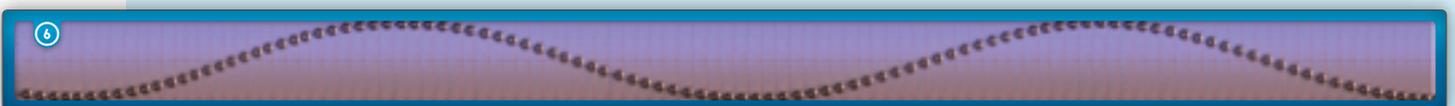
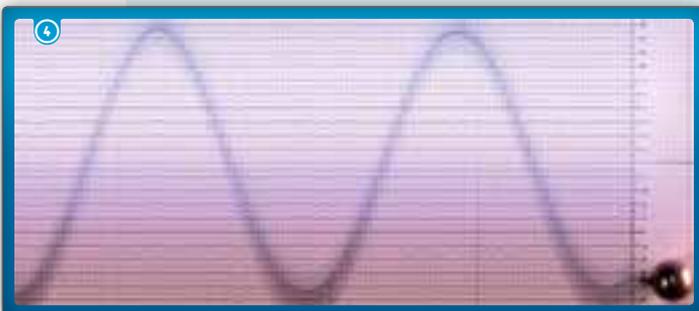
- ▮ Prenez le ressort avec une masse accrochée à sa base / prenez le pendule avec une masse accrochée ; placez la règle en position adéquate pour observer le déplacement. ① ②
- ▮ Enregistrez la masse [expérience du ressort] / enregistrez la longueur du pendule. ③
- ▮ Placez la caméra de l'ordinateur face au ressort/pendule pour pouvoir enregistrer tout le montage dans la séquence.
- ▮ Laissez tomber la masse à partir de sa position d'origine et laissez-la osciller de part et d'autre de sa position moyenne.
- ▮ Sauvegardez la vidéo.
- ▮ Mesurez la période avec un chronomètre ou lisez-la à partir du film enregistré.
- ▮ Ajoutez un accéléromètre au corps en oscillation et sauvegardez les données [uniquement niveau II].
- ▮ Déterminez l'influence de la modification des paramètres sélectionnés sur les quantités d'oscillations.

Analyse

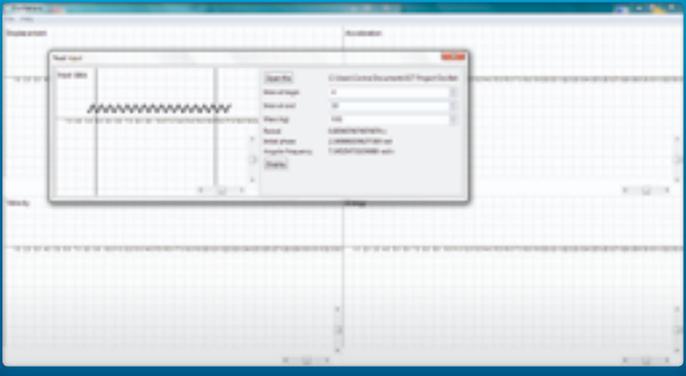
1. Pour commencer à travailler avec le logiciel Tracker, les élèves doivent importer le clip vidéo et choisir les séquences qui seront analysées.

Le programme enregistre des informations sur la position du corps observé comme une fonction du temps et à partir de ces données, le programme trace des graphiques avec une dépendance temporelle de différentes quantités : position dans les dimensions horizontale et verticale, vitesse dans ces deux dimensions, vitesse actuelle, accélération, énergie mécanique : cinétique et potentielle. Le programme vous permet également de définir certaines nouvelles quantités physiques, si les élèves souhaitent observer et analyser leurs variations.

2. En travaillant avec Tracker ou VirtualDub, les élèves peuvent observer le caractère commun des variations de déplacement des oscillations du ressort et du pendule. Les figures 4-7 sont la combinaison d'images de laps de temps réalisées avec le logiciel «VirtualDub». En compa-



7 Comparaison entre les données expérimentales et celles obtenues par la simulation



À partir de ces images, on peut constater un caractère similaire des oscillations du ressort et du pendule.

- Oscillations du ressort (résumées séquence par séquence) ④
- Oscillations du pendule (résumées séquence par séquence) ④
- Pendule résumé séquence par séquence) ④

3. Une manière intéressante d'étudier un mouvement harmonique simple d'un ressort/pendule est d'utiliser un accéléromètre et d'enregistrer l'accélération du corps oscillant. Les élèves peuvent ensuite traiter ces données en utilisant le logiciel «Osc» www.scienceonstage.de/ qui fournit quatre graphiques dépendant de : l'accélération, la vitesse, le déplacement et l'énergie totale, cinétique et potentielle.

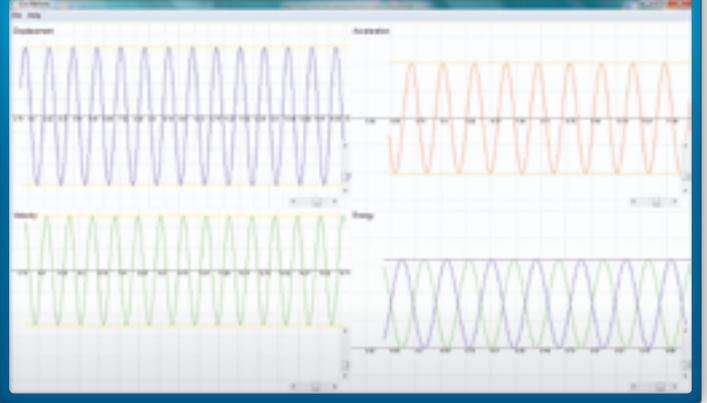
Si les élèves importent les données, ils doivent dessiner le graphique : $a = f(t)$. À partir de ce graphique, ils peuvent estimer la période du mouvement, calculer la fréquence angulaire et le déplacement du corps oscillant. Ils doivent comparer les données expérimentales avec les données fournies par le logiciel. ④

Questions pour résumer

En utilisant Tracker, Virtual Dub ou Osc, on peut demander aux élèves les tâches suivantes :

- Observer le caractère des oscillations (niveau I, II)
- Déterminer les données caractéristiques des oscillations (I, II)
- Tracer les graphiques : $T = f(m)$, si k est le même et $T = f(k)$ si la masse est la même (niveau II pour le ressort) et $T = f(l)$ (niveau I, II pour le pendule)
- Observer le changement de phase entre le déplacement

8 Diagramme réalisé avec le logiciel «Osc»

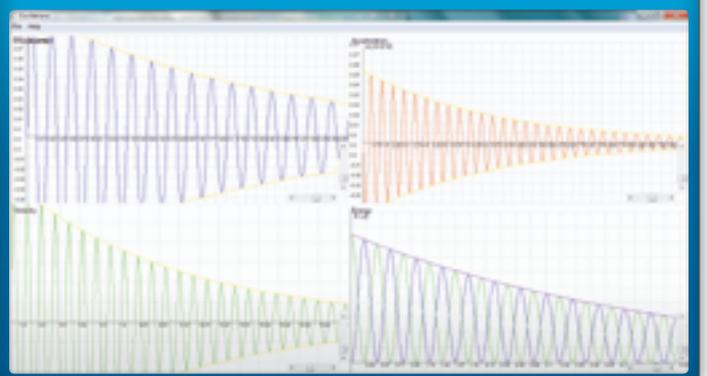


ment et la vitesse et le changement de phase entre le déplacement et l'accélération (II)

- Vérifier la loi de conservation de l'énergie mécanique – sur le graphique ④ ; la courbe noire représente l'énergie totale qui est la somme de l'énergie potentielle (courbe bleue) et de l'énergie cinétique (courbe verte) (II)
- Vérifier que la période de variation d'énergie potentielle et cinétique est égale à la moitié de la période d'oscillation (II)
- Vérifier la dépendance $T = f(m)$ pour un ressort avec la constante k s'il y a les fichiers correspondants avec des données pour différentes masses, ou la dépendance $T = f(k)$ pour la même masse et différents ressorts (II)
- Vérifier la dépendance $T = f(l)$ pour un pendule (I, II)

Avec le même logiciel «Osc» www.science-on-stage.de/, les élèves peuvent simuler une oscillation amortie ④. Ils peuvent choisir les paramètres d'oscillation : fréquence, amplitude, constante de phase et $b/2m$ (où b est le coef-

9 Simulation d'une oscillation amortie avec le logiciel «Osc»



ficient d'amortissement visqueux et m la masse du corps oscillant] (II). Les élèves peuvent formuler leurs opinions sur: les valeurs de déplacements au moment où la vitesse ou l'accélération atteint le maximum ou zéro, la différence entre la période du mouvement et les périodes d'énergie cinétique ou potentielle et au moins l'influence de la friction sur les paramètres du mouvement.

Figure 10 montre comment exécuter un set simple pour tester les oscillations amorties et figure 11 est le résultat de l'analyse faite avec Tracker.

Les élèves peuvent formuler des conclusions à propos de ceci:

- ▮ Les valeurs de déplacements lorsque la vitesse est maximale ou nulle;
- ▮ Les valeurs de déplacements lorsque l'accélération est maximale ou nulle;
- ▮ Pourquoi le mouvement de la période est égal à deux fois la période de variation de l'énergie potentielle ou cinétique;
- ▮ L'influence de la friction sur les paramètres du mouvement.

CONCLUSION

Le mouvement simple d'un ressort n'est pas si facile à étudier. En utilisant en même temps un travail expérimental et des données réelles pour le logiciel choisi, les élèves comprendront facilement la dépendance entre les différents paramètres du mouvement oscillatoire et développer leurs aptitudes TIC (technologies de l'information et de la communication). Ils seront capables d'appliquer les connaissances acquises dans l'étude ou d'autres mouvements oscillatoires.



10 Etude d'une oscillation amortie avec des moyens simples



11 Résultats de l'analyse avec Tracker

