

VERS LE PLEIN EMPLOI DES CALCULATRICES INTERFACÉES

Jacques PERIES, Nicole PITHON, Pascal RAULIN

MAFPEN de Montpellier

1. Introduction

Les calculatrices actuelles, connectées à une interface de saisie et de mémorisation de type CBL, ou CBR pour le cas très particulier des mouvements rectilignes, permettent d'enregistrer des mesures variées et d'effectuer, de façon autonome, la plupart des expériences classiques du programme de sciences physiques des lycées.

Le tableur et le grapheur, intégrés à la calculatrice, facilitent toutes les analyses souhaitables sur les mesures prélevées.

Quelques programmes simples de dérivation et d'intégration numérique, de résolution pas à pas d'équations différentielles, amplifient les possibilités d'investigation et génèrent parfois, sur l'écran, l'évolution théorique prévisible des grandeurs caractéristiques, avec toutes les comparaisons possibles aux résultats expérimentaux.

La communication rapide entre calculatrices, rétroprojecteur et ordinateur favorise la convivialité, le suivi et la publication de tous les résultats.

Le dispositif que nous proposons dans cet atelier est souple, transportable partout, capable de promouvoir une formation scientifique autonome interactive.

Objectifs

Les trois thèmes proposés au cours de cet atelier ont été choisis pour montrer la faisabilité, la richesse, la souplesse et le prolongement possible de travaux pratiques assistés par des calculatrices interfacées.

2. Fiche de manipulation n° 1 : oscillations de faible amplitude, d'un pendule simple.

Le pendule simple sphérique est peu freiné par l'air, sauf si on place une collerette. La distance "d" entre la face avant de la sphère et le capteur (SONIC ou CBR) fournit, approximativement, l'angle de rotation α du pendule par rapport à la verticale du point d'attache. Respecter une distance d de plus de 0,5m et éviter les échos ultrasons parasites.

Connecter et allumer l'interface CBL à la calculatrice laquelle est en mode radian. Vérifier que l'émetteur SONIC ou le CBR est activé (Voir LED clignotante). Appeler le programme de saisie (CHUTBAL, par la touche PRGM) et le valider.

La durée, entre deux mesures successives, est à choisir pour les 99 mesures à faire. Lancer le pendule pour de petites oscillations dans le plan vertical du capteur. Déclencher la saisie manuellement, en appuyant sur la touche TRIGGER du CBL. Après saisies, le graphe $d = f(t)$ s'affiche ; recommencer éventuellement les mesures. Par TRACE et en déplaçant le curseur, noter d_{max} et d_{min} et en déduire la position d'équilibre statique : $d_0 = (d_{max} + d_{min})/2$. Mesurer aussi la période sur l'axe des temps.

Dans STAT EDIT, placer le curseur sur l'en-tête de la liste L3 et taper $L3 = (L2 - do)/l$ pour calculer, par la fonction tableur, toutes les valeurs approximatives d'angle $\alpha = (d - do) / l$. Effacer L2 et recréer $L2 = L3$ pour disposer du temps t en L1 et de l'angle A en L2.

La vitesse angulaire est obtenue en L3 par dérivation numérique à l'appel, par PRGM, du PROGRAMMEDERIVNUM. *Inconvénient* : cette dérivée est bruitée.

Par 2ND et PLOT 2ONL1 , L3 et ZOOM 9 , superposer les graphes : angles et vitesses angulaires en fonction du temps. Observer, malgré la différence d'échelle, leur quadrature.

Par STAT EDIT calculer en L4 l'énergie potentielle de pesanteur : $E_p = mgh = mgl(1 - \cos\alpha)$.

Calculer en L5 l'énergie cinétique $E_c = 1/2(m l^2 \omega^2)$ qui est très bruitée. Calculer en L6 l'énergie mécanique $E = E_c + E_p$. Observer ces trois formes d'énergie seules ou simultanément en fonction de l'angle.

Conclure sur les échanges d'énergie à l'intérieur de l'oscillateur et entre l'oscillateur et le monde extérieur. La conservation de l'énergie mécanique montre les échanges mutuels entre énergie potentielle et énergie cinétique.

Rappels théoriques : $dE_p/dt = -dE_c/dt$ et $mg \sin\alpha d\alpha/dt = -mvdv/dt$ d'où $g \sin\alpha \omega = -l^2 \omega d\omega/dt$ et l'équation différentielle du mouvement : $d^2a/dt^2 + g \sin\alpha/l = 0$, devient une équation à coefficients constants pour de faibles amplitudes et admet alors une solution sinusoïdale.

Par STATCALCSINREG L1,L2,Y1 chercher une solution sinusoïdale de type :

$\alpha = a_0 \sin(bt+c) + d$ en Y1, et par dérivation de Y1, la vitesse angulaire en Y2.

Par ZOOM 9 , la calculatrice trace à la fois, les équations horaires expérimentales données par PLOT1L1, L2 et PLOT2L1, L3 et leurs modèles sinusoïdaux par Y1,Y2.

Portrait de phase éventuel : $w/w_0 = f(a)$ de l'oscillateur presque harmonique. Ici ce sera une courbe elliptique presque fermée, puisque le repère n'est pas orthonormé.

Prévision théorique possible des oscillations amorties : utiliser le programme PRGM OSCILL, qui résout l'équation différentielle pas à pas par la méthode d'Euler d'ordre 1, en choisissant un pas d'intervalle de temps dt petit. Il demande : élongation initiale, vitesse initiale, période et coefficient d'amortissement éventuel A. Choisir aussi des axes de représentation adaptés à l'expérience, qui limitent la simulation à effectuer.

Le programme décrit une boucle de calcul, et de dessin des positions successives de l'oscillateur selon l'organigramme suivant :

- Dessin de la position de l'oscillateur à la date t(n)
- Incrémentation du temps:
 $t(n+1) = t(n) + dt$ avec dt petit
- Calcul de vitesse suivante :
 $w(n+1) = w(n) - A dt - w_0 a(n) dt$
- Calcul des positions suivantes :
 $a(n+1) = a(n) + w(n+1) dt$
- Arrêt de cette boucle à la date voulue :
 $t_{max} = X_{max}$.

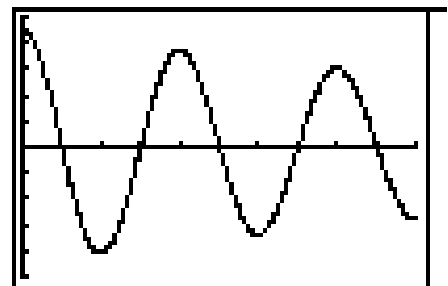


Figure 1

3. Fiche de manipulation n° 2 : cinétique de la réaction d'autocatalyse du permanganate de potassium et de l'acide oxalique suivie par spectrophotométrie en travaux pratiques.

Montage du CBL avec le spectrophotomètre de travaux pratiques du SAMS de Montpellier.

Préréglages : ce colorimètre, alimenté par une alimentation symétrique +15V,-15V est muni, entre autres, de la LED verte la plus appropriée pour cette réaction. Si la DEL éclaire une cuve totalement absorbante, régler la tension de sortie du montage électronique à phototransistor à $U_{max} = 5$ volts. Avec une cuve transparente, régler la tension de sortie à 0 volt.

On peut, au préalable, vérifier la loi de Beer Lambert pour des solutions très diluées de permanganate de potassium de 0,1mmol/L à 0,01mmol/L par exemple et appliquer une régression linéaire pour établir la loi sur l'absorbance $A = -\log(1-U/U_{max}) = KC$ avec $K=1125$

Expérience d'autocatalyse : lancer le programme de saisie de la tension de sortie en fonction du temps à déclenchement manuel, en choisissant 50 mesures toutes les 4 secondes.

Dans une cuve, verser 1ml de solution de permanganate à 1mmol/L puis 1 ml d'acide sulfurique à 1mol/L et enfin 1ml de solution d'acide oxalique à 0.1mol/L. Agiter et placer rapidement la cuve dans le colorimètre, déclencher manuellement la prise de mesure en appuyant sur la touche TRIGGER du CBL.

La courbe d'évolution de la tension en fonction du temps s'affiche après 200 secondes.

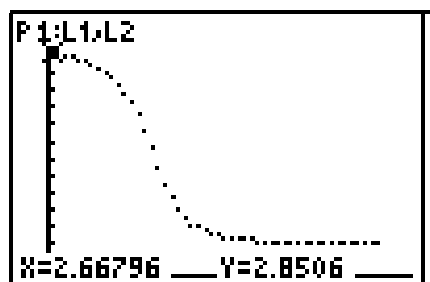


Figure 2

Utilisation du tableur :

- Calcul de l'absorbance A en liste L3 = $-\log(1 - (L2/5))$
- Calcul de la concentration en liste L4 = $L3/K = L3/1125$
- Affichage de la concentration en fonction du temps.
- Vérification de la concentration initiale $C_0 = 0.33$ mmol/L par la loi de Beer Lambert.

Analyse de la vitesse de disparition

$$V = -dC/dt,$$

obtenue par dérivation numérique en L3 si on place l'opposé de la concentration en L2.

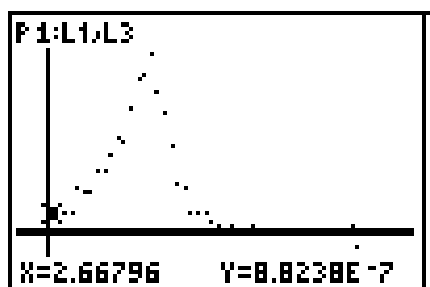


Figure 3

Conclusions sur l'effet d'autocatalyse :

L'évaluation de la concentration $C' = C_0 - C$ de l'ion Mn^{++} responsable de l'autocatalyse et la représentation de la vitesse de la réaction en fonction de la concentration du catalyseur montre que cette vitesse est bien proportionnelle à la quantité de catalyseur présent pendant la phase d'accélération de la réaction.

4. Fiche de manipulation n° 3 : Analyse d'une figure de diffraction formée par la lumière d'un laser traversant une fente étroite

Un capteur de lumière, déplacé verticalement en une demi minute environ, grâce à un support à crémaillère, enregistre la puissance lumineuse reçue le long de la figure de diffraction formée par la lumière d'un laser traversant une fente étroite horizontale.

Simultanément un capteur de déplacement posé sur le même support à crémaillère, évalue la position de ce capteur de lumière par rapport au sol.

On observe, à la fois, la taille et la luminosité du maximum central et des deux maximums latéraux de la figure de diffraction.

Précautions :

Le laser et la fente diffractante sont suffisamment loin, pour que les taches de diffraction soient grandes par rapport à la surface réceptrice du capteur de lumière.

L'obscurité est nécessaire pour n'enregistrer que la lumière monochromatique diffractée.

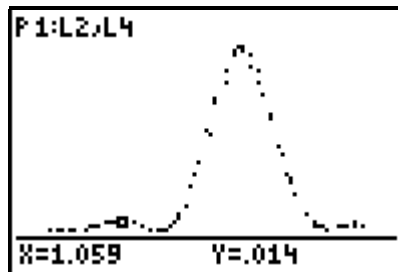


Figure 4

Résultats expérimentaux :

La tache centrale est deux fois plus large que la tache secondaire voisine.

La puissance lumineuse du maximum central est environ vingt fois plus forte que celle du premier maximum secondaire.

Interprétation par le modèle ondulatoire.

Un programme prédictif de l'amplitude relative de la lumière monochromatique diffractée par une fente étroite selon l'angle de diffraction a déjà été publié [Péries 96].

Référence

[Péries 96] Péries J., Diffraction et interférences en lumière visible, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 789, cahier n°2, décembre 1996, pp.109-117.