

EN PHYSIQUE-CHIMIE

## Souris de laboratoire

XAVIER CAMACHO <sup>[1]</sup>

*S'il est un champ disciplinaire qui ne peut se permettre d'ignorer les nouvelles technologies, ce sont bien les sciences physiques fondamentales et appliquées au lycée. Le numérique offre aux professeurs de physique-chimie d'indéniables plus-values pédagogiques, qui s'intègrent pleinement à l'enseignement expérimental auquel nous sommes tellement attachés. Démonstration en terminale S.*

## Si Galilée avait possédé Excel...

La légende raconte que c'est à l'âge de 19 ans que Galilée (1564-1642) fit la démonstration du phénomène d'isochronisme des petites oscillations en mesurant, à l'aide de son propre pouls (!), la période des oscillations d'un lustre de la cathédrale de Pise. Il arrive ainsi à démontrer que la période des oscillations est donnée par la relation :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$\ell$  : longueur du pendule (en m)

$g$  : accélération de la pesanteur terrestre (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ )

Moins génial, mais tout aussi efficace que Galilée, un tableur de type Excel permet une exploitation graphique rapide des mesures expérimentales réalisées à l'aide d'un pendule simple équipé de différentes masselottes et d'un dispositif type rapporteur de mesure de l'angle initial  $\theta_0$ . Le tableur se révèle d'une aide précieuse pour réaliser une exploitation exhaustive – c'est assez rare pour être souligné – de cette expérimentation, réalisée dans le cadre d'une séance de travaux pratiques de terminale S, d'une durée de 2 heures.

Trois clics nous permettent ici d'étudier l'influence des différents paramètres (angle initial **1**, longueur du pendule **2**, masse **3**) sur la période des oscillations. On remarquera que la période  $T$  est liée à la longueur  $\ell$  du pendule. Néanmoins, les points obtenus ne sont pas modélisables sous la forme d'une fonction mathématique quelconque. D'où l'idée – à suggérer aux élèves à travers les documents fournis – d'étudier le comportement de  $T^2$  en fonction de  $\ell$ .

Tous les collègues de l'enseignement scientifique le savent : la construction d'un graphique est pour de

## mots-clés

modélisation,  
pédagogie,  
simulation

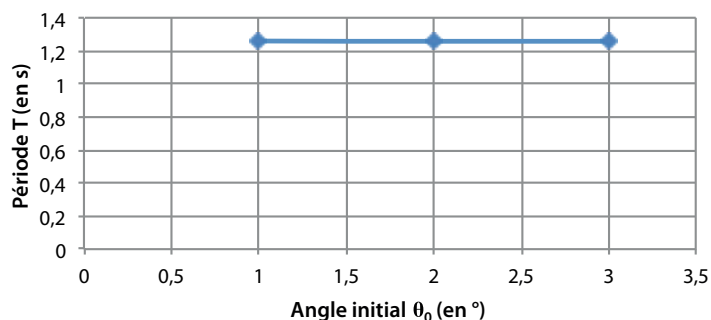
nombreux élèves un travail herculéen... Alors trois, imaginez ! L'outil informatique se révèle donc ici indispensable à notre quête d'isochronisme.

Un dernier effort digital permet d'égaliser le génie **4**. Excel nous confirme l'isochronisme des petites oscillations : nous voilà soulagés...

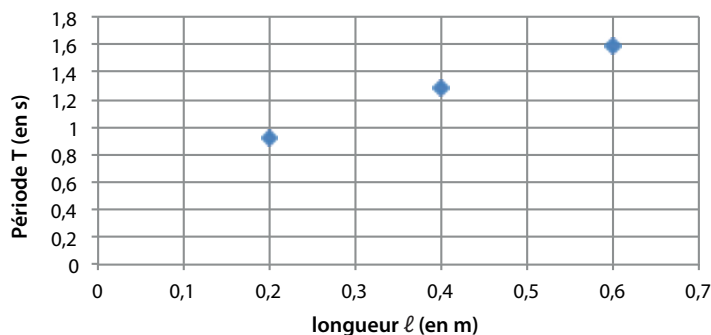
Notre tableur a même le bon goût de fournir l'équation de la modélisation – coefficient de corrélation compris –, qui permet la prolongation classique de cette étude aboutissant à la détermination de l'accélération de la pesanteur terrestre, le célèbre  $g$  ! Inespéré...

Le coefficient de corrélation (coefficient de Bravais-Pearson) permet de « quantifier » la qualité d'une dépendance linéaire entre deux variables. L'algorithme d'Excel nous fournissant ici un résultat très proche de 1, on peut valider l'hypothèse de proportionnalité selon laquelle  $T^2 = k\ell$ .

Pour les binômes de TP les plus rapides, ces résultats sont obtenus au bout d'une heure et demie de travail et de réflexion. Galilée lui-même ne saurait le nier : le tableur nous fait gagner ici un temps pré-



**1** L'évolution de la période  $T$  des oscillations du pendule simple en fonction de l'angle initial  $\theta_0$ .



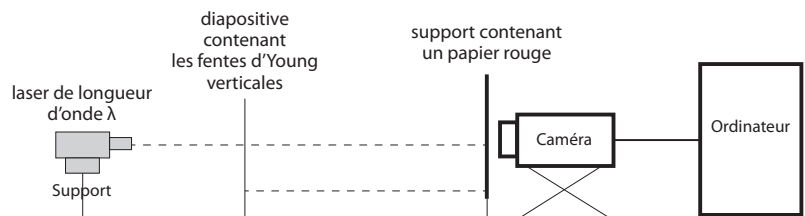
**2** L'évolution de la période  $T$  des oscillations du pendule simple en fonction de la longueur  $\ell$  du fil

[1] Professeur de physique-chimie au lycée Gustave-Eiffel de Cachan (94).

cieux, en nous évitant le fastidieux travail de construction graphique.

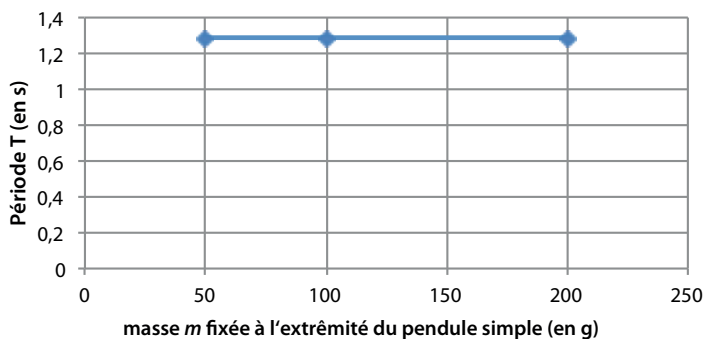
**... et Thomas Young une webcam**

Le médecin et physicien anglais Thomas Young (1773-1829) a validé expérimentalement la nature ondulatoire de la lumière à travers la découverte des interférences lumineuses par l'expérience dite des trous d'Young en 1804 – c'est là sa principale contribution à la science. Mais quel professeur de physique ne s'est jamais arraché les cheveux en essayant de mesurer avec précision l'interfrange d'une figure interférentielle ? Là aussi, l'outil informatique apporte une aide spectaculaire. Développé dans le cadre du projet EU-HOU (Hands-On Universe, Europe), le logiciel SalsaJ (téléchargeable sur [www.fr.euhou.net](http://www.fr.euhou.net)) permet aux élèves des lycées de s'initier au traitement et à l'analyse d'images en classe, et, dans notre cas, de réaliser l'étude du phénomène d'interférence avec une grande acuité.

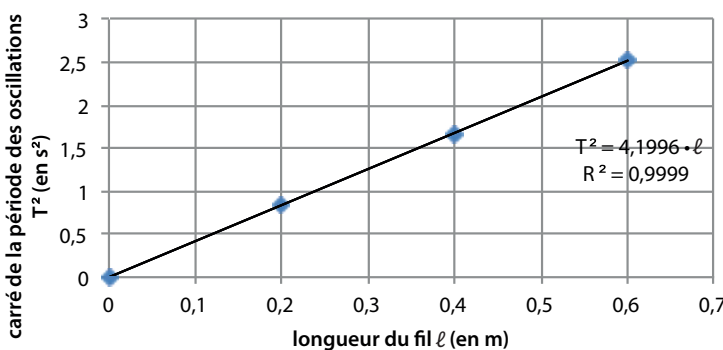


**5** Webcam couplée à son logiciel d'acquisition

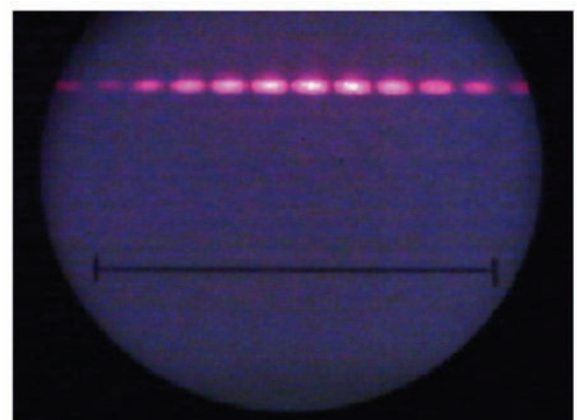
Avec une webcam couplée à son logiciel d'acquisition **5**, on obtient une figure d'interférence particulièrement propre, projetée sur une feuille de papier épais rouge montée sur support. Après avoir tracé un trait étalon sur la feuille **6**, on effectue une sélection d'image qui s'étend aux deux extrémités sombres limitant l'étalon de longueur **7**. Cette sélection nous permet d'obtenir



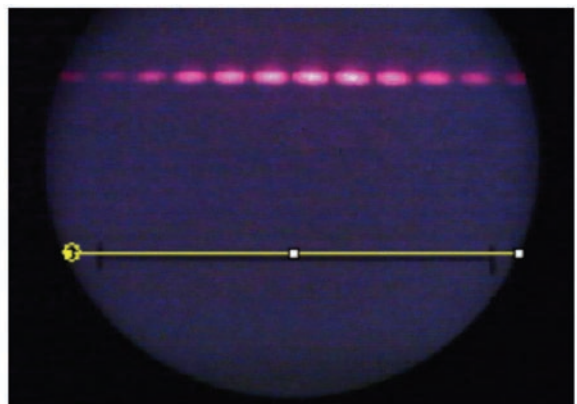
**3** L'évolution de la période T des oscillations du pendule simple en fonction de la masse



**4** L'évolution du carré de la période du pendule en fonction de la longueur ℓ du fil

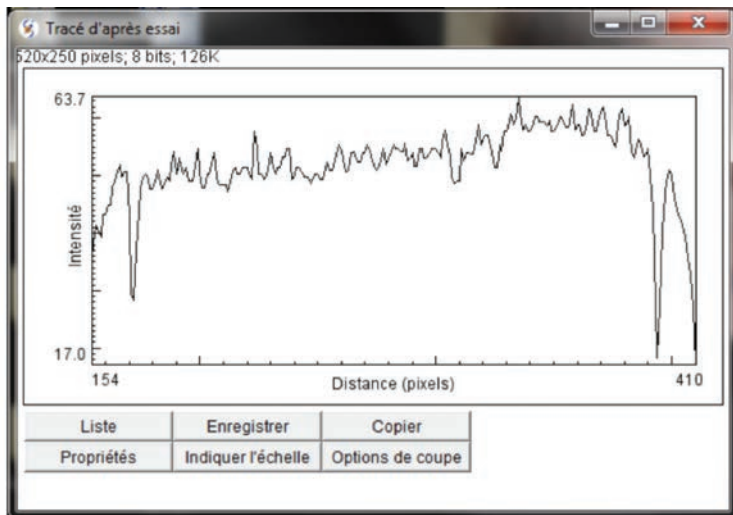


**6** Figure d'interférence projetée sur une feuille de papier

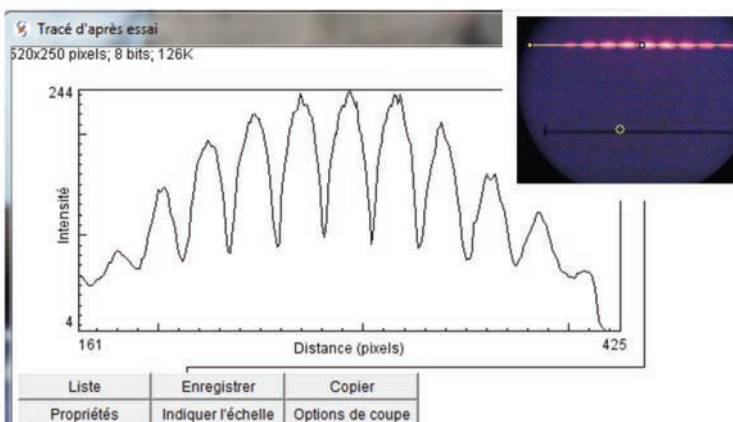


**7** Image webcam de la figure d'interférence avec étalon de longueur

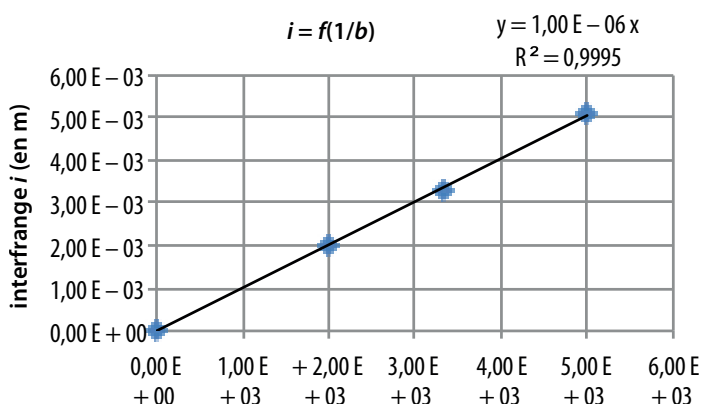
le tracé du profil spectral du trait étalon d'environ 3 cm. On peut ainsi définir une échelle qui donne la correspondance entre distance réelle (en centimètres) et nombre de pixels sur l'image.



**8** Le tracé du profil spectral du trait étalon



**9** Le profil spectral permettant de déterminer la valeur de l'interfrange  $i$



**10** Le graphe de détermination de la longueur d'onde  $\lambda$

Les pics d'absorption correspondent aux traits noirs de l'étalon de longueur, tracés au crayon à papier sur la feuille cartonnée servant d'écran de projection. On peut vérifier les valeurs correspondant aux pics d'absorption à l'aide d'un réticule. Dans cet exemple, les deux pics d'absorption sont situés à 172 pour le premier et à 394 pour le second, d'où une distance en pixels égale à 222 pixels pour 3 cm **8**.

En sélectionnant la zone interférentielle, on obtient le profil spectral **9**, qui permet de déterminer la valeur de l'interfrange  $i$  avec une précision inégalable manuellement.

La prolongation de cette activité consiste à vérifier la longueur d'onde du laser utilisé (d'où l'appellation de lambdamètre à interférences).

Là encore, c'est à l'aide du tableur que l'on obtient le graphe **10** qui permet de vérifier la donnée constructeur. D'après la relation  $i = \lambda L / b$ , le coefficient directeur de la droite tracée correspond au produit  $\lambda L$ . On en déduit facilement la longueur d'onde du laser étudié.

$\lambda = (1,00 \times 10^{-6}) / 1,57 = 637 \text{ nm}$ , conforme à la donnée constructeur, mentionnant un laser à 632 nm avec une tolérance de 10 nm.

L'apport du logiciel de traitement d'images en termes de précision est ici indéniable, et les élèves trouvent ainsi plus de sens à l'expérimentation réalisée. Cette précision accrue permet aussi de gommer le scepticisme que nous avons tous lu dans les yeux d'un élève lorsqu'il s'est agi de réaliser des mesures physiques quantitatives.

### Le numérique au service de la chimie

L'enseignement de la chimie est traditionnellement un domaine propice à l'expérimentation réelle qui fait manipuler tous les outils du laboratoire : solutions, instruments de verrerie divers, appareils de mesure... Néanmoins, il existe de plus en plus de petits logiciels qui peuvent compléter très avantageusement cette approche expérimentale. Petite mosaïque de ces possibilités nouvelles...

### Les équilibres acido-basiques

L'enseignement des équilibres acido-basiques demeure, réforme après réforme, une constante de l'enseignement de la chimie dans le secondaire. Pour autant, les contenus qui s'y rattachent restent difficiles d'accès pour beaucoup d'élèves, l'exemple phare en étant la compréhension des aspects chimiques afférents à la réalisation d'un titrage acido-basique. Particulièrement, la notion d'équivalence est souvent incomprise par les élèves qui, le plus souvent de bonne volonté, réalisent l'activité expérimentale de titrage colorimétrique que nous avons tous pour habitude de mettre en œuvre pour aborder cet enseignement.

En utilisant un logiciel de simulation de titrage **11**, il est avantageux de montrer l'évolution du pH au cours de l'ajout de solution titrante (ici, le cas du titrage d'un acide fort par une base forte) pour mettre en évidence sa brusque variation au changement de réactif limitant, qui définit l'état d'avancement appelé « équivalence ».

Les élèves peuvent ainsi effectuer une simulation de titrage qui leur permet d'une part de mieux appréhender le principe du titrage colorimétrique, et d'autre part de choisir eux-mêmes l'indicateur coloré le mieux adapté au titrage qu'ils doivent réaliser.

### Les titrages par conductimétrie

Toujours dans le cadre de l'enseignement de l'analyse chimique appliquée aux contrôles de qualité dans des exemples de la vie, les élèves de terminale S sont amenés à réaliser des titrages par conductimétrie. Sur des séances de travaux pratiques de 2 heures, il est particulièrement ambitieux de vouloir réaliser le titrage ainsi que la courbe de conductivité de la solution à la main. Plus rapide, et plus précis pour la modélisation, Regressi permet une exploitation efficace des mesures réalisées **12**.

L'outil de modélisation du logiciel permet de tracer les deux segments de droite dont le point d'intersection détermine le volume équivalent du titrage, point de départ de l'exploitation classique qui consiste à vérifier la concentration massique indiquée sur l'étiquette du produit d'entretien.

### La spectroscopie

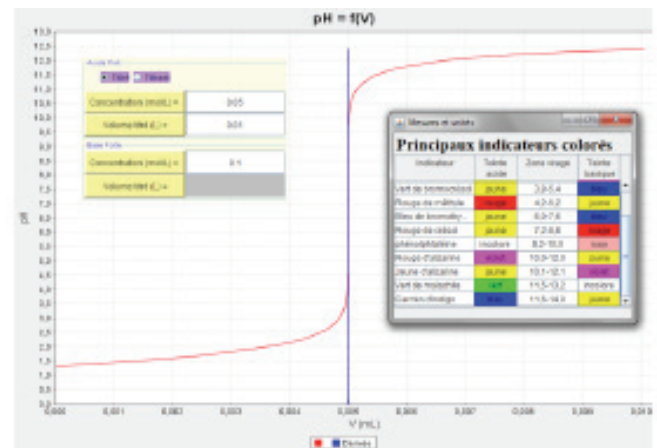
Une des grandes nouveautés du programme de terminale S réside dans l'introduction à la spectroscopie. Dans cette partie du programme, les élèves sont amenés à interpréter différents spectres en IR et en RMN du proton  $^1\text{H}$  **13**. Là encore, l'outil numérique nous élargit grandement l'éventail des possibilités avec des logiciels de simulation tels Specamp (exemples de spectres, qui peuvent par exemple être utilisés comme support de cours pour l'introduction de notions complètement nouvelles).

Ce même logiciel peut être utilisé en travaux pratiques pour s'entraîner à reconstituer des spectres à partir de molécules données. Des possibilités équivalentes existent pour la spectroscopie IR.

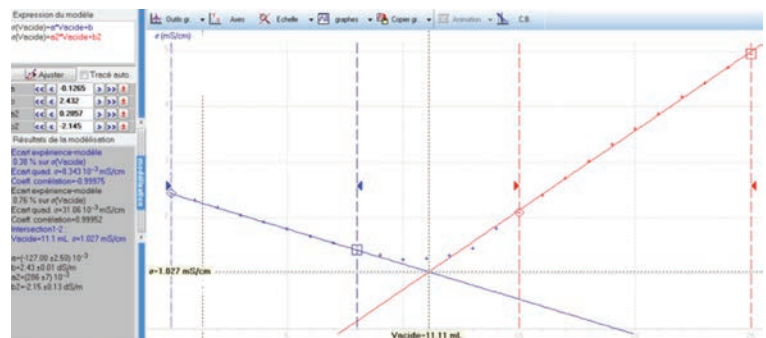
### Une offre qui s'élargit sans cesse

Le catalogue des possibilités que le numérique offre aux enseignants de sciences physiques s'enrichit sans cesse, et nos pratiques pédagogiques s'en voient modifiées ; la communication des savoirs est améliorée, les situations d'expérimentation s'élargissent par la simulation, l'exploitation des résultats est facilitée. Gageons que ce catalogue va continuer à s'enrichir, dans l'intérêt de l'amélioration constante de notre enseignement, au service des élèves qui nous sont confiés.

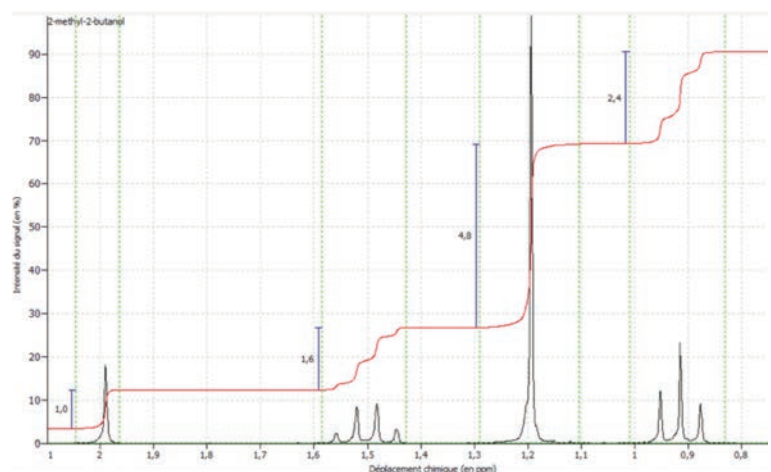
En attendant, invitons tous nos collègues à découvrir ces nouveaux outils et à feuilleter ce grand catalogue des logiciels dédiés à l'enseignement des sciences, encore et encore... ■



**11** Les résultats donnés par le logiciel de simulation de titrage



**12** Exemple d'exploitation à l'aide de Regressi des mesures réalisées : titrage conductimétrique d'un échantillon de Destop par une solution d'acide chlorhydrique



**13** Le spectre RMN du 2-méthyl-2-butanol