

# La loi de Newton pour le refroidissement

Un récipient d'eau chaude à la température  $T$ , placé dans une pièce à la température plus basse  $T_{\text{ambiante}}$ , va subir un transfert de chaleur de l'eau chaude vers la pièce. En fin de compte, l'eau se trouvera à la même température que son environnement. Vous observez ceci chaque fois que vous attendez un moment qu'une boisson refroidisse. Dans cette expérience, vous examinerez le refroidissement de l'eau chaude, en ayant comme but la création d'un modèle mathématique décrivant le processus. Vous allez également prédire la durée nécessaire au refroidissement à température ambiante.

Isaac Newton a établi un modèle du refroidissement en faisant l'hypothèse que le taux auquel l'énergie thermique est transférée d'un corps à un autre est proportionnel à la différence de température entre les deux corps,  $T_{\text{diff}}$ . Dans le cas d'eau se refroidissant dans de l'air :

$$\text{Taux de refroidissement} = -kT_{\text{diff}}$$

À partir de cette simple hypothèse, il a montré que la variation de température est exponentielle et peut être prédite par l'équation :

$$T = T_0 e^{-kt} + T_{\text{ambiante}}$$

où  $T_0$  est la différence initiale de température. Les variations exponentielles sont fréquentes dans la nature : elles se produisent quand un taux de variation est proportionnel à la grandeur qui varie.

Pour effectuer cette expérience rapidement, vous allez utiliser une petite quantité d'eau chaude, à une température de l'ordre de  $30^\circ\text{C}$  au-dessus de la température de la pièce. Un senseur de température connecté à un ordinateur relèvera la température de l'eau au cours du temps.



Figure 1

## OBJECTIFS

- Utiliser un senseur de température pour relever le refroidissement de l'eau chaude.
- Tester la loi de Newton pour le refroidissement à l'aide de vos données.

- Utiliser cette loi pour prédire la température de l'eau en tout temps.

## MATERIEL

Power Macintosh  
LabPro

Logger *Pro*

Sonde de température  
Boîte pour film 35-mm film et  
couvercle  
Eau chaude

## PROCEDURE

1. Connectez une sonde de température au Channel 1 du LabPro.
2. Ouvrez le dossier Experiment 33 de *Physics with Computers*. Puis ouvrez le fichier correspondant à la sonde que vous utilisez. Deux fenêtres apparaîtront à l'écran, l'une est un graphique et l'autre un tableau de données. L'axe horizontal du graphique est le temps de 0 à 20 minutes et l'axe vertical porte la température de 0 à 60°C. Le tableau des données recueillera les données de temps et de la température.
3. Déterminez la température ambiante. Pour cela, tenez le senseur à l'écart de toute source de chaleur et de la lumière du soleil. Cliquez sur  pour commencer l'acquisition des données. Quand la température ne varie pratiquement plus, cliquez sur  pour terminer l'acquisition des données. Notez la valeur dans le tableau des données.
4. Poussez la sonde de température à travers le trou du couvercle pour pouvoir la submerger avec le couvercle sur le boîtier. Ne laissez pas la sonde appuyer sur le fond.
5. Procurez-vous de l'eau à environ 55°C. Cela devrait être possible avec de l'eau du robinet d'eau chaude. Si nécessaire, faites chauffer de l'eau.
6. Remplissez soigneusement le boîtier aux trois-quarts d'eau chaude. Fermez le boîtier hermétiquement.
7. Attendez environ 15 s pour que la sonde atteigne la température de l'eau.  pour commencer l'acquisition de données, qui durera 20 minutes.

## TABLEAU DES DONNEES

Température ambiante (°C)	
---------------------------	--

## ANALYSE

1. Utiliser Logger *Pro* pour ajuster une fonction exponentielle aux données. Pour cela, cliquez sur le bouton d'ajustement de courbe, . Et choisissez la fonction Natural Exponential ( $y=A*\exp(-C*x)+B$ ) à partir du menu déroulant. Cliquez  pour effectuer l'ajustement, puis cliquez sur .
2. La loi de Newton a été formulée comme

$$T = T_0 e^{-kt} + T_{\text{ambiante}}$$

Faites correspondre les variables  $x$ ,  $y$ ,  $A$ ,  $B$ , et  $C$  des équation aux termes  $T$ ,  $T_{\text{ambiante}}$ ,  $k$ , et  $t$  dans l'expression de la loi de Newton. Quelles sont les unités de  $A$ ,  $B$  et  $C$ ?

3. Comparez votre valeur pour  $B$  à la température ambiante que vous avez notée. Pendant l'acquisition des données, le senseur s'est-il trouvé à un moment ou à un autre à cette température?
4. Pour  $t = 0$ , quelle est la valeur de  $e^{-kt}$ ?
5. Quand  $t$  est très grand, quelle est la valeur de la différence de température ? Quelle est alors la température de l'eau?
6. Que pourriez-vous modifier dans votre dispositif expérimental pour faire baisser la valeur de  $k$  dans une autre mesure ? Quelle quantité  $k$  mesure-t-il?
7. Utilisez votre équation pour calculer la température après 800 seconds. Comparez votre résultat calculé à la valeur mesurée.
8. Utilisez votre équation pour prédire le temps qu'il faudrait pour que l'eau atteigne une température supérieure de  $1^\circ\text{C}$  à la température ambiante.
9. Si on diminuait de moitié la différence de température initiale, faudrait-il un temps deux fois plus court pour que l'eau atteigne une température supérieure de  $1^\circ\text{C}$  à la température ambiante.?

## **EXTENSIONS**

1. Prenez des données pendant un temps assez long pour que l'eau atteigne presque la température de la pièce, ce qui peut prendre plus de 30 minutes. Le modèle exponentiel s'accorde-t-il encore avec les données?
2. Une buveuse de café se trouve confrontée au dilemme suivant : elle ne peut boire son café crème chaud dans les 10 minutes à venir, mais elle le veut le plus chaud possible. Vaut-il mieux ajouter tout de suite la crème à température ambiante, mélanger et laisser refroidir pendant les dix minutes, ou attendre 10 minutes *avant* d'ajouter et de brasser la crème? Dans quel cas la température est-elle la plus élevée après 10 minutes ? Utilisez la sonde de température pour examiner ce dilemme. Expliquez vos résultats en terme des hypothèses de Newton sur le refroidissement.
3. Utilisez la sonde de température pour expérimenter des matériaux différents de tasses à café... Une boisson refroidit-elle plus vite dans une tasse de porcelaine ou dans un gobelet de machine automatique? Quelles variables devrait-on maintenir fixes pour s'assurer que la différence de résultant est bien due à la seule matière ? Quelle partie de l'équation est-elle liée à la tasse ?
4. Le modèle mathématique du refroidissement d'un liquide peut être utilisé pour expliquer d'autres phénomènes naturels. Par exemples, la radioactivité se comporte de façon similaire : Trouvez d'autres exemples, et si possible, faites des mesures .