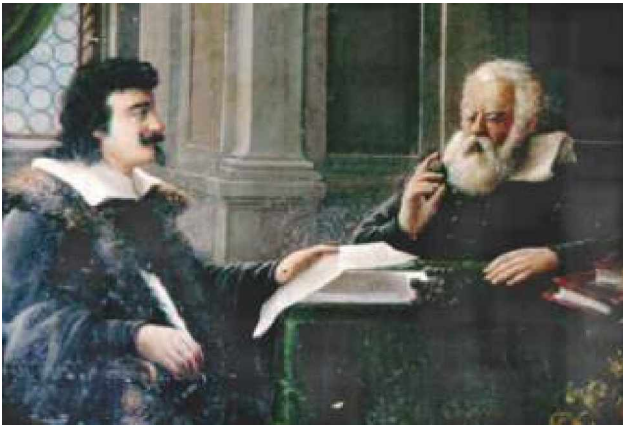


## COURANTS DE CONVECTION ET COMPORTEMENT ANORMAL DE L'EAU

*Evangelista Torricelli (1608-1647), le disciple de Galilée, est connu principalement pour avoir découvert la pression atmosphérique et construit le premier baromètre. Il a construit également un des premiers thermomètres à alcool. Le mercure a été employé dans les thermomètres seulement plus tard.*



### Objectif:

Pour comparer le comportement thermique de l'eau à celui des autres liquides, spécifiquement alcool et de l'huile de table. Préciser l'anomalie de l'eau dans l'intervalle  $0^{\circ}\text{C}$  à  $4^{\circ}\text{C}$  de la température pour étudier des courants de convection.

Cet ensemble d'expériences vise à étudier le processus de chauffe d'un liquide qui est au départ gelé puis réchauffé à la température ambiante. La température en fonction du temps est mesurée à différents niveaux à l'intérieur du récipient contenant le liquide.

## Issues théoriques

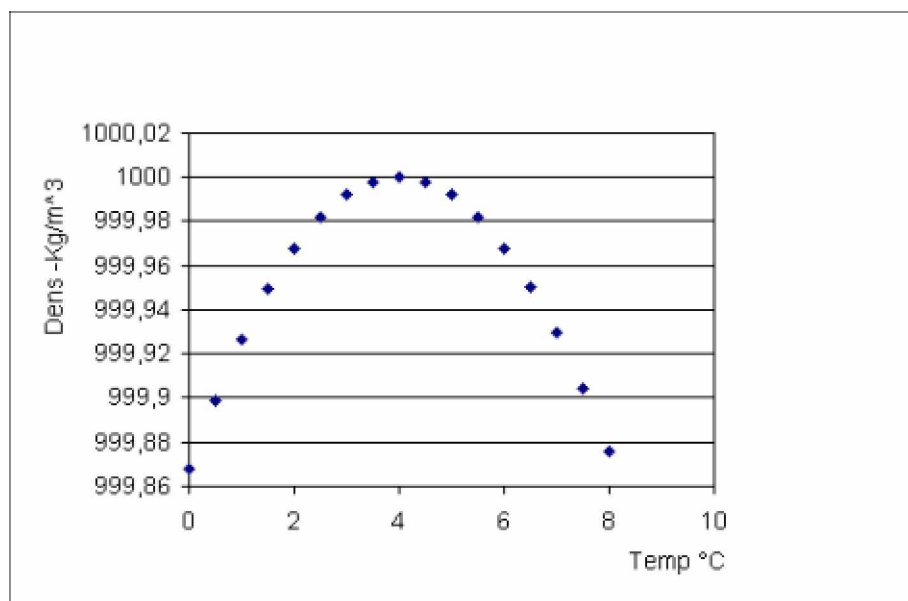
Les fluides ont une conductivité thermique très basse. La transmission de la chaleur dans les liquides se produit principalement par convection.

Pour chauffer un liquide nous le mettons habituellement sur une source de chaleur. La couche qui se réchauffe d'abord est la couche inférieure qui est en contact avec la source. L'augmentation de la température cause un changement de densité. La couche inférieure devient moins dense et donc, selon le principe d'Archimède, tend à monter sur la surface abaissant une certaine quantité de liquide à une plus basse température qui se réchauffe et se déplace vers le haut à son tour. Ce processus produit un transport de matière dans le fluide et produit des courants de convection.

Si nous essayons de chauffer le liquide à partir du dessus, en utilisant un sèche-cheveux par exemple pour réchauffer le récipient, nous ne pouvons pas réussir; une propagation rapide de la chaleur ne se produit que si la source est mise dessous.

Si nous laissons refroidir un liquide par un simple contact avec l'environnement (par exemple une boisson sortie du réfrigérateur) nous pouvons noter que sa température n'est pas uniforme. En raison du processus décrit ci-dessus la masse entière du liquide se réchauffe mais la température des couches supérieures est toujours plus haute que celle des couches inférieures.

Les différents liquides montrent des comportements semblables excepté l'eau mais seulement dans l'intervalle de température compris entre 0°C et 4°C où sa densité augmente au lieu de diminuer.



On peut observer l'anomalie en laissant une masse d'eau froide (du réfrigérateur avec des cubes de glace) se réchauffer en contact avec l'environnement. Les courbes de chauffage sont dans ce cas-ci différentes de celles d'autres liquides : autour de 4°C les deux courbes correspondant aux températures à différents niveaux se croisent.

D'autres dispositifs de ce phénomène sont décrits dans l'expérience du lac congelé.

## Mise en oeuvre expérimentale

Cet ensemble d'expériences vise à étudier la dynamique de chauffe d'un liquide qui est au commencement refroidi puis laissé à se réchauffer en contact avec l'environnement. La température en fonction du temps a été mesurée à différents niveaux dans le récipient contenant le liquide. Des éprouvettes comme celles sur le schéma 1 peuvent être utilisés, mais également des bouteilles d'eau minérales comme sur le schéma 2.



Fig. 1: Le premier cylindre est rempli d'alcool et le seconde avec de l'huile ; trois sondes de température sont placées dans chaque récipient.



Fig. 2: Des mesures peuvent être effectuées également dans une bouteille en plastique, celle-ci est remplie avec de l'eau.

La mise en œuvre expérimentale est réalisée comme suit :

- 3 cylindres ou 3 bouteilles en plastique
- 3 sondes flexibles de la température

- Calculatrice graphique Ti84Plus
- Unité d'acquisition de mesures CLB or CBL2
- Câble unité à unité ([see photo](#))
- Logiciel d'acquisition DataMate (téléchargeable)
- TI-GRAPH LINK câble et logiciel (optionel, pour transférer des données au PC)

Info: <http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/software.html>

Téléchargeable: <http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/download.html>

D'autres calculatrices peuvent être utilisées (par exemple TI83 plus, TI83 plus Se, TI89, TI92, TI92 plus, voyage 200 de TI) et d'autres logiciels (par exemple physique ou Chembio) ou même d'autres systèmes d'acquisition de données.

Il est recommandé d'avoir trois sondes, mais l'expérience peut être exécutée également avec deux.

### **Notes pratiques pour la réalisation de l'expérience :**

- Arrangez trois sondes flexibles en les collant dans le récipient de sorte qu'une soit au fond, une au milieu et une sur la surface du liquide ;
- Installez le système d'acquisition de données ;
- Prenez une certaine quantité d'eau froide et ajoutez de la glace ;
- Remuez le liquide avant de commencer à mesurer ;
- Plongez les sondes, sans qu'elles ne touchent les bords du récipient ;
- Commencez l'acquisition (si vous avez besoin d'aide allez à « acquisition de données » en bas de cette page).

Dans l'expérience, les températures ont été prises 90 fois toutes les 30 secondes. La mesure a duré 45 minutes.

Quelle est l'allure de vos représentation graphiques ?

Si vous le souhaitez, vous pouvez les comparer aux représentations graphiques de l'échantillon (l'eau, [alcool](#), [huile](#) ; voir également le guide du professeur).

Si vous ne pouvez pas réaliser l'expérience que vous pouvez employer les données téléchargeable de l'échantillon de données, en bas de cette page.

Vous pouvez observer comment les changements de température s'effectuent à différents niveaux dans le liquide en réchauffant la bouteille avec un sèche-cheveux en le dirigeant en haut sur la partie plus inférieure de la bouteille. Les mesures sont très rapides maintenant. Vous pouvez suivre ce qui se produit en 3 minutes, en prenant 60 mesures toutes les 3 secondes. Dans l'échantillon de données les données sont disponibles pour l'alcool avec un chauffage à partir du dessus et du fond du récipient.

Le professeur peut trouver quelques suggestions dans la section au sujet des issues éducatives.

## ACQUISITION DE DONNÉES (Ti84)

### **Transmission de la chaleur dans les liquides : courants de convection et comportement anormal de l'eau**

Dans cette expérience nous rassemblerons les températures mesurées par les trois sondes.

La mesure peut être rassemblée en utilisant le programme DataMate.

Le procédé peut être divisé en deux étapes : installation et acquisition.

#### **Réglages:**

Reliez tous les câbles :

- la calculatrice à l'interface avec le câble noir (voir la photo)
- les sondes aux canaux CH1, CH2, CH3 (voir la photo)

Organisez tous les matériels nécessaires :

- remplissez la bouteille d'eau et de glace
- secouez avant de commencer l'acquisition. Démarrer le programme DataMate :

CHECKING SENSORS apparaît et affiche Voie CH 1 : TEMP (C) - CH 2 : TEMP (C) - CH3 : TEMP (C) la température de chaque sonde peut être relevée.

Pour commencerr la mesure

- sélectionner 1:SETUP en tapant 1
- sélectionner MODE:TIME GRAPH et appuyer sur ENTER
- depuis le menu SELECT MODE sélectionner 2:TIMEGRAPH
- sélectionner 2:CHANGE TIME SETTINGS
- quand ENTER TIME BETWEEN SAMPLE apparaît écrire 30
- quand ENTER NUMBER OF SAMPLES apparaît entrer 90, puis taper sur ENTER pour confirmer sélectionner 1:OK en appuyant sur 1.
- Insérer les sondes dans les éprouvettes et commencer l'acquisition en sélectionnant 2:START.

Tandis que la mesure se produit les représentations graphiques des températures des trois sondes sont montrées en temps réel ; quand la collecte des données est terminée, la représentation graphique est automatiquement redessinée avec une échelle convenable

Les données rassemblées sont enregistrées dans les listes

- L1 temps
- L2, L3, L4 température

Aller voir la représentation graphique obtenue en cliquant sur [l'eau](#), [alcool](#), [huile](#).

Répétez la mesure à l'aide du sèche-cheveux: observez comment des changements de température à différents niveaux dans le liquide en réchauffant la bouteille avec un sèche-cheveux se dirigent en haut ou sur la partie la plus inférieure de la bouteille. Vous pouvez suivre ce qui se produit en 3 minutes, en prenant 60 mesures toutes les 3 secondes. À la page les données un échantillon de données et les représentations graphiques correspondantes pour l'expérience de l'alcool sont disponibles.

## Echantillon de données TI84

Les données ont été acquises en utilisant:

- Calculatrice graphique TI84
- Interface CBL2 ([see photo](#))
- Trois sondes de température
- Câble de liaison noir ([see photo](#))
- Programme DataMate
- [TI-GRAPH LINK TM](#) câble et [logiciel](#) (optionel)
- PC avec le logiciel TI Connect (optionel)  
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/features/software.html>  
<http://education.ti.com/us/product/accessory/connectivity/down/download.html>

**Des données originales dans la calculatrice TI84 peuvent être trouvées dans :**

L'eau :

- **L1** temps
- **L2** première sonde de température
- **L3** seconde sonde de température
- **L4** troisième sonde de température

Alcool:

- **L1** temps
- **L2** première sonde de température
- **L3** seconde sonde de température
- **L4** troisième sonde de température

Huile:

- **L1** temps
- **L2** première sonde de température
- **L3** seconde sonde de température

Alcool du fond :

- **L1** temps
- **L2** première sonde de température
- **L3** seconde sonde de température
- **L4** troisième sonde de température

Alcool à partir du dessus :

- **L1** temps
- **L2** première sonde de température
- **L3** seconde sonde de température
- **L4** troisième sonde de température

**Echantillon de données (MS Excel):**

Afin de voir ou télécharger des données d'échantillon MS Excel [cliquer ici](#).

Données au sujet du transfert de chaleur de l'alcool depuis le [bas](#).

Données au sujet du transfert de chaleur depuis le [haut](#).

## LE GUIDE DU PROFESSEUR

Pour exécuter les expériences la classe peut être divisée en groupes et un liquide différent peut être donné à chacun d'eux ; des solutions peuvent également être employées, par exemple l'eau et ou l'eau et du sucre, afin de proposer des mesures alternatives.

Après le rassemblement des données les étudiants (30-45 minutes peut être assez) présentent leurs résultats à leurs camarades de classe et les comparent.

L'anomalie de l'eau apparaît clairement par comparaison avec d'autres liquides.

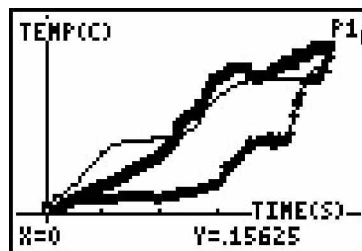


Fig. 1: Température de l'eau en fonction du temps à trois niveaux différents.

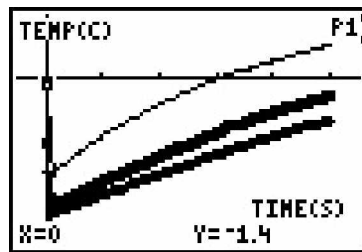


Fig. 2 Température de l'eau en fonction du temps à trois niveaux différents

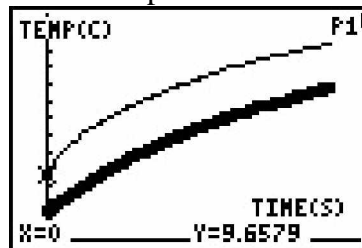


Fig. 3: La température d'huile en fonction du temps à trois niveaux différents.

L'eau n'est pas donc un bon liquide thermométrique. Son comportement anormal entre 0°C et 4°C rendrait son utilisation dans cet intervalle très compliquée. Le pétrole et l'alcool montrent un comportement thermique régulier.

Les mêmes données peuvent être employées également pour d'autres observations. La température d'un liquide est homogène et définie seulement quand l'équilibre thermique est atteint. Cette idée peut être confirmée par les mesures avec le dessiccateur d'air pour étudier les courants de convection.

En chauffant l'alcool du fond de la bouteille (2a) et à partir du dessus d (2b) les représentation graphiques suivantes peuvent être obtenues.



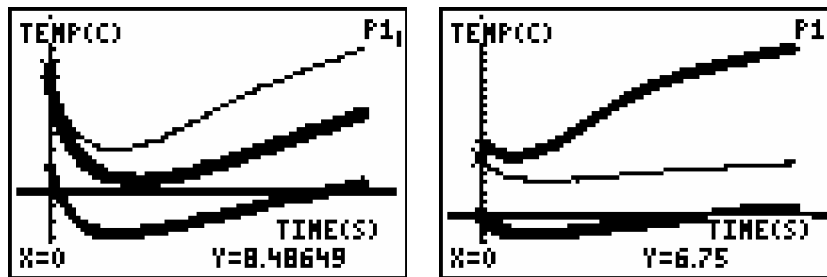
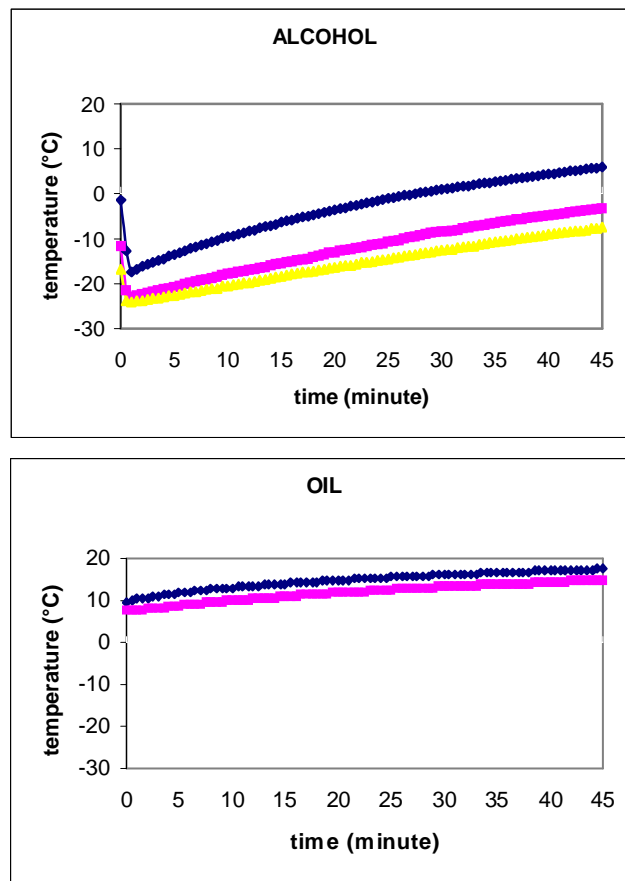
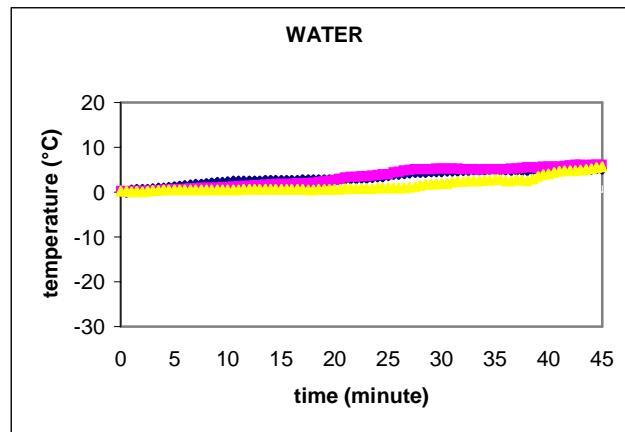


Fig. 2a: (chauffage du fond) les trois courbes sont parallèles ; car la couche inférieure se réchauffe également la température de la couche intermédiaire et de la couche supérieure augmente ; la transmission de la chaleur se produit immédiatement

Fig. 2b: (chauffage à partir du dessus) la courbe supérieure augmente rapidement tandis que la température de la couche intermédiaire et des niveaux plus bas change très peu ; l'augmentation de la température est due principalement au fait que la température entière de système augmente pour atteindre l'équilibre thermique





Les représentations graphiques du schéma 1 sont différentes. Si nous ajustons toutes les représentations graphiques sur la même échelle nous pouvons noter :

- L'eau a une chaleur spécifique élevée : ses changements de température s'effectuent beaucoup moins rapidement que les autres liquides.
- Parmi les liquides analysés l'alcool est certainement le plus adapté pour être employé en tant que liquide thermométrique : il reste liquide également à basse température et il est très sensible aux changements de température

Les expériences sont également décrites dans :

*Thermal Expansion: using Calculator-Based Laboratory Technology to Observe the Anomalous Behavior of Water*, Mario Branca, Isabella Soletta, *Journal of Chemical Education*, Vol 82 n°4, April 2005, pag. 613.

[\(cliquer ici\)](#)

*Dilatazione Termica: il Comportamento Anomalo dell'Acqua*, Isabella Soletta, Mario Branca, *Ipotesi*, Anno 5, n°1, 2002, pag. 15 [\(cliquer ici\)](#).