

# DES EXPÉRIENCES SIMPLES POUR COMPRENDRE UNE PLANÈTE COMPLIQUÉE



LE TEMPS SUSPENDU À UN FIL



Expériences: Susana A. Alaniz-Álvarez, Ángel F. Nieto-Samaniego

Entretien sur le Pendule de Foucault: Miguel de Icaza Herrera

Images: Luis David Morán

Traduit par: Thierry Calmus, Sandra Fuentes Vilchis, Paola Garcés

# Universidad Nacional Autónoma de México

**Enrique Luis Graue Wiechers**

Recteur

**Leonardo Lomelí Vanegas**

Secrétaire général

**William Henry Lee Alardín**

Coordonnateur de la recherche scientifique



**Jorge Volpi Escalante**

Coordonnateur de la Diffusion Culturelle

**Socorro Venegas Pérez**

Directeur général des publications et de la promotion éditoriale

**Lucía Capra Pedol**

Directrice du Centre de Géosciences

**Susana A. Alaniz Álvarez**

**Ángel F. Nieto Samaniego**

**Yadira H. Hernández Pérez**

Coordonnateurs de la Série

**Thierry Calmus**

**Sandra Fuentes Vilchis**

**Paola Garcés**

Traducteurs

**Elisa López**

Conception

**María Teresa Orozco Esquivel**

Réviseuse technique

**Juan Carlos Mesino Hernández**

Éditeur technique

Première édition, mai 2020

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F.

Centre des Géosciences

Universidad Nacional Autónoma de México

No. 3001, Boulevard Juriquilla, Juriquilla, Querétaro

C.P. 76230, Mexique

ISBN (Collection intégrale) : 978-607-02-9195-1

ISBN : en cours

*Imprimé et fabriqué au Mexique*

Ce livret ne peut être reproduit, en tout ou en partie, par aucun moyen électronique ou autre, sans autorisation écrite des éditeurs.



DES EXPÉRIENCES  
SIMPLES POUR  
COMPRENDRE  
UNE PLANÈTE  
COMPLIQUÉE

#### **4. Le temps suspendu à un fil**

# Index

**Introduction .....** 3  
Jean Bernard Léon Foucault .... 4



**Partie I : Le temps suspendu à un fil**  
Susana A. Alaniz Álvarez et Ángel F. Nieto Samaniego

**Expérience 1 .....** 5

Pour mesurer le temps, un fil et une vis me suffisent

Mesure du temps avec un pendule

**Expérience 2 .....** 7

Faisons une ellipse

**Expérience 3 .....** 9

... et pourtant elle tourne

**Expérience 4 .....** 11

« Je choisirai le paradis pour la climat, l'enfer pour la compagnie. »

Temps d'exposition au soleil

**Expérience 5 .....** 14

Chasser votre propre ombre

Inclinaison des rayons du soleil

**Expérience 6 .....** 16

Chaleur spécifique. Combien d'énergie faut-il pour changer votre température ?

**Expérience 7 .....** 18

Densité comme moteur de l'eau

**Expérience 8 .....** 20

Densité comme moteur éolien

**Expérience 9 .....** 22

L'effet Coriolis

**Partie II : Conversation sur le pendule de Foucault.....** 25

Miguel de Icaza Herrera

**Remerciements .....** 29

**À propos des auteurs .....** 30

**À propos des traducteurs .....** 31

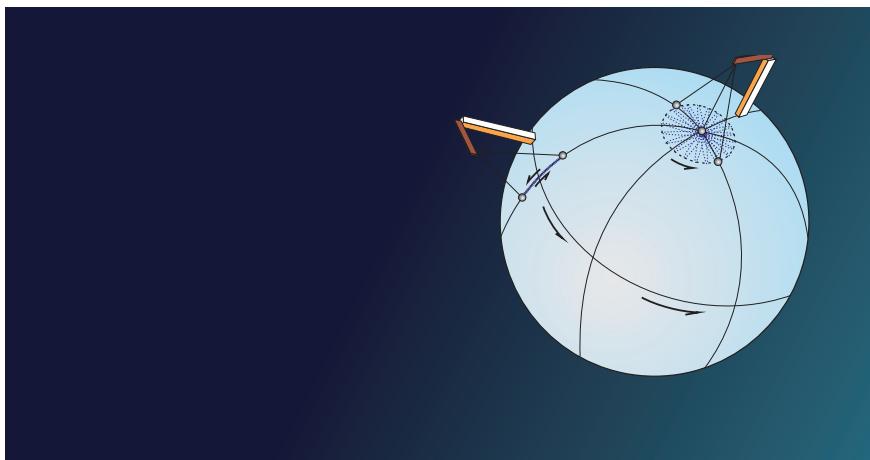


# Introduction

C'est la quatrième contribution de la série « Des expériences simples pour comprendre une Terre compliquée ». Ici tu trouveras de nouvelles expériences que tu pourras faire chez toi avec des matériaux simples et faciles à obtenir ; dans ce nouveau volume, nous avons choisi celles qui sont liées à la météo. Nous t'invitons à les reproduire attentivement et à observer comment Mère Nature les fait aussi.

Aux informations, on dit que le temps est déterminé par plusieurs facteurs : température, humidité, vitesse du vent et pression atmosphérique. Grâce à cette information, on nous dit si la journée sera ensoleillée, pluvieuse ou orageuse. Le temps (ou la météo) change de jour en jour et l'étude des facteurs locaux est utilisée pour faire des prévisions. Le climat, en revanche, correspond aux conditions atmosphériques qui caractérisent une région à long terme, c'est-à-dire qui prédominent toute l'année : par exemple le climat tropical, subtropical, tempéré, désertique ou polaire. Le climat est principalement contrôlé par le soleil et par la latitude, la rotation et la translation de la Terre. Bien que la météo soit un phénomène très complexe, ces expériences simples te permettront de comprendre certains des principes fondamentaux qui la régissent.

Le personnage de ce livret est Jean Bernard Léon Foucault que nous avons choisi parce qu'il a trouvé un moyen très ingénieux de démontrer la rotation de la Terre sans avoir à regarder les étoiles. Or, comme nous le verrons, la rotation joue un rôle fondamental dans le climat d'une région.



**Jean Bernard León Foucault** (1819-1868) est né à Paris, en France. Il a profité de la notoriété de la science dans la France du XIXème siècle pour montrer son génie expérimental : il a introduit la photographie en astronomie en 1815, a mesuré la vitesse de la lumière à l'aide d'un système de miroirs en rotation en 1850, a démontré expérimentalement que la lumière se déplace plus lentement dans l'eau que dans l'air (1850), a conçu le télescope moderne en 1851 et, en 1852, a inventé le gyroscope (un disque circulaire qui tourne sur un axe, quelque chose comme une toupie ou une roue de bicyclette) pour démontrer la rotation de la Terre. Il a acquis une renommée internationale à la suite de l'Exposition Universelle de Paris en 1851, lorsqu'il a montré au monde le pendule qui porte aujourd'hui son nom.

Un pendule est un corps suspendu à un fil dont les mouvements de va-et-vient se font toujours dans la même direction. Le pendule de Foucault faisait un peu plus de 65 m de long et le corps suspendu était un boulet de canon. Il le monta dans le célèbre Panthéon de la capitale française et démontra expérimentalement la rotation de la Terre en montrant que l'oscillation du pendule effectuait un tour complet dans un certain délai. Comme la direction du mouvement du pendule ne change pas, l'enregistrement d'un tour complet indiquait que c'est le sol qui tournait ! Ainsi, Foucault conçut l'idée qu'un pendule pouvait démontrer la rotation de la Terre sans avoir à observer les étoiles : la trace laissée par le pendule à l'un des pôles de la Terre montre que le plan d'oscillation fait un tour complet en un jour, alors que, à l'équateur, l'oscillation se fera toujours dans le même plan.

Pour mesurer le temps, un fil et une vis me suffisent

## Expérience 1

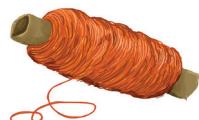
### Mesure du temps avec un pendule

#### Matériaux

Vis ou tout objet lourd que tu peux tenir avec un fil.

Fils de différentes tailles: 10 cm, 30 cm, 100 cm, 250 cm.

Horloge ou chronomètre.



#### Procédure

Crée plusieurs pendules en attachant un objet avec un certain poids à l'extrémité de chaque fil.

Accroche-les à une barre horizontale (par exemple une rambarde).

Fais fonctionner un pendule à la fois et compte le temps qu'il met pour aller et venir, écris le résultat dans un cahier. Recommence en abaissant davantage la vis pour lui donner une plus grande amplitude de mouvement. Fais de même avec des pendules de différentes longueurs.

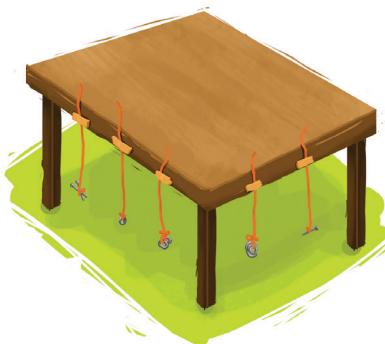


#### Observe

Pour chaque pendule, le temps parcouru entre un tour et l'autre est le même quelle que soit la distance parcourue par la vis, quelle que soit sa longueur. Avec une longueur de 50 cm, le pendule exécute chaque mouvement en une seconde et demie environ. Tu remarqueras également que le pendule s'arrête avec le temps, en raison de la résistance de l'air qui ralentit lentement le mouvement du pendule. L'expérience sera d'autant plus réussie que le fil sera plus long et léger, la vis plus lourde et l'amplitude des oscillations réduite.

## **Variantes**

Tu peux également placer des objets de poids différents et tu remarqueras que, si la longueur du pendule est la même, la durée du trajet ne changera pas. Lorsque la longueur du fil est grande, tu remarqueras que le trajet du pendule n'est pas exactement une ligne droite, mais plutôt une ellipse, c'est-à-dire semblable à un cercle écrasé.



## **Applications dans la vie quotidienne**

Un pendule est très utile pour mesurer le temps et son utilité principale est sans doute la construction d'horloges. Note que la lentille (poids) des vieilles horloges est plate pour diminuer la résistance à l'air. Le pendule le plus drôle est la balançoire. Un pendule sans mouvement est un fil à plomb et sert à indiquer la verticale.

# Expérience 2

## Faisons une ellipse

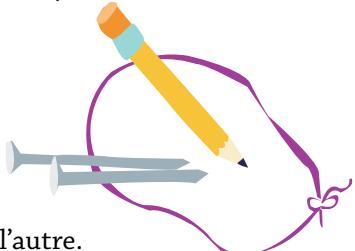
### Matériaux

2 clous (ou bien des branches, des bâtons, des crayons).

1 fil.

Terre ou sable.

Un crayon.



### Procédure

Enfonce les clous dans le sol, séparés l'un de l'autre.

Noue les deux bouts du fil.

Place le crayon à l'intérieur du fil et forme un triangle entre le crayon et les clous. En t'assurant que la corde est tendue, tourne et dessine l'ellipse.

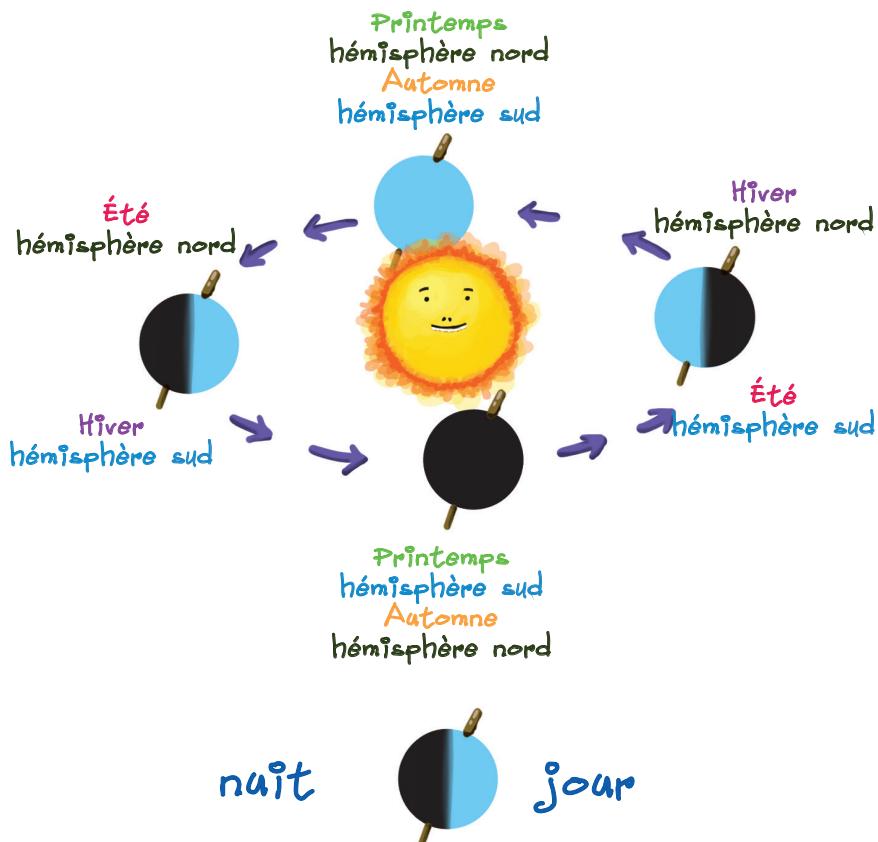
### Remarque

Si la distance entre les clous (appelés techniquement foyers) est très grande, l'ellipse sera très longue, devenant dans le cas extrême une ligne droite. Par contre, si la distance entre les clous est très petite, le trait sera presque circulaire. Une façon de caractériser l'ellipse consiste à établir une relation entre sa longueur et sa largeur. Si ces deux distances sont voisines, l'ellipse ressemblera davantage à un cercle, si elles sont très différentes, elle ressemblera plutôt à une ligne.



## Trouve-la dans la nature

Le chemin que la Terre suit autour du Soleil est une ellipse, mais très proche d'un cercle. Ce chemin n'est donc pas la cause de la variation des conditions météorologiques au cours des saisons. Note que lorsque la Terre est la plus éloignée du Soleil, c'est l'été et l'hiver, et lorsqu'elle est la plus proche, c'est le printemps et l'automne (tu peux également remarquer que lorsque dans l'hémisphère nord, c'est l'été, au sud, c'est l'hiver).



# Expérience 3

## ...et pourtant elle tourne

### Matériaux

Ruban adhésif.

Une fenêtre.

Une nuit étoilée.



### Procédure

Par une nuit étoilée, regarde par la fenêtre de ta chambre et marque sur le verre, avec un morceau de ruban adhésif, la position d'au moins trois étoiles. Toutes les demi-heures environ (par exemple entre les émissions de télévision), du même endroit exactement, marque à nouveau la position des mêmes étoiles ; fais-le au moins quatre fois pour compléter deux heures.



### Observe

Les étoiles semblent bouger et tu marques leur trajectoire. Note que certaines parcourent plus de distance que d'autres. Si la nuit suivante à la même heure et au même endroit tu révises les marques que tu as laissées la nuit précédente, tu verras qu'elles recouvrent les mêmes étoiles que la nuit précédente. En effet, il faut 23 heures et 56 minutes à la Terre pour effectuer un tour complet de son axe de rotation.



## Explique

Ce qui bouge, c'est toi, ou plutôt la Terre sous tes pieds, en raison de sa rotation. Les étoiles les plus lointaines se déplacent plus lentement que les planètes et la lune qui sont plus proches de nous ; mais, dans cette expérience, les différentes distances indiquées dans la fenêtre ne dépendent pas de la distance aux étoiles, mais de leur position par rapport au nord. Si tu marques l'étoile polaire sur la fenêtre, elle ne bougera pas.

## Observe-le dans ta vie quotidienne

Lorsque tu te déplaces en voiture ou en camion sur la route, les arbres à proximité passent rapidement et les plus éloignés plus lentement.



Chemin des étoiles autour de l'étoile polaire dans un ciel vu dans l'hémisphère nord.

« Je choisirai le paradis pour la climat, l'enfer pour la compagnie. »

Mark Twain

## Expérience 4

### Temps d'exposition au soleil

#### Matériaux

Chemises de différentes couleurs dont une noire et une blanche.  
Une journée ensoleillée.

#### Procédure

Mets la chemise noire et sors au soleil pendant cinq minutes, puis enfile la chemise blanche et retourne au soleil pendant cinq minutes supplémentaires. Essaye des chemises de différentes couleurs et matières.

#### Observe

Avec la chemise noire il fait plus chaud qu'avec la chemise blanche.

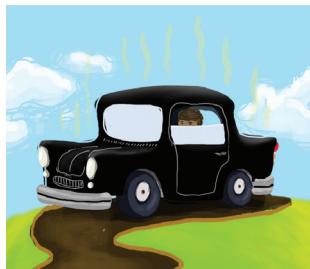


## Explique

La chaleur est transmise par rayonnement, conduction et convection. Dans le cas de la conduction, la chaleur est transmise par contact (par exemple en touchant un pot chaud) ; dans le cas de la convection, elle est transmise par un fluide en mouvement (la vapeur qui sort du pot avec de l'eau bouillante), et dans le cas du rayonnement, par mouvement d'ondes sans intervention d'un fluide en mouvement (à l'approche d'un feu, tu sens immédiatement la chaleur). Les trois mécanismes sont impliqués dans cette expérience : les rayons solaires émettent de la lumière et de la chaleur, la chaleur passe par rayonnement à travers la couche d'air de l'atmosphère, lorsque les rayons touchent la surface ils la réchauffent et l'air qui touche la surface chaude est chauffé par conduction ; lorsque l'air est chauffé, il se dilate et monte par convection. Les rayons du soleil entrent en contact avec la chemise noire, la couleur noire absorbe presque tous les rayons et se réchauffe, tandis que la chemise blanche reflète presque tous les rayons.

## **Applique-le à ta vie**

Les voitures noires se réchauffent plus que les voitures de couleur claire. Plus la voiture reste exposée au soleil, plus l'air à l'intérieur chauffera. En période de chaleur extrême, tu peux améliorer le climat de ta voiture en laissant la fenêtre entrouverte. Garde ta chambre fraîche en ne laissant pas le soleil entrer pour que l'air ne chauffe pas : tu peux le faire en gardant les rideaux fermés.



## Trouve-le dans la nature

Le temps qu'il fait dans une région dépend, entre autres choses, du temps d'exposition au soleil pendant la journée. En été, les jours sont plus longs qu'en hiver, plus la journée dure longtemps plus le soleil illumine et plus l'air se réchauffe.

Comme nous l'avons vu avec des matériaux de couleurs différentes, certaines couleurs capturent plus de radiations que d'autres, les plus sombres plus que les plus claires. Le pourcentage de rayonnement réfléchi par les matériaux, c'est-à-dire celui qu'ils n'absorbent pas, est appelé albédo (voir tableau). Si nous considérons que l'air se réchauffe en étant en contact avec le sol et en voyant que les nuages reflètent une grande partie

des rayons du soleil, nous comprenons pourquoi, par temps nuageux, il fait beaucoup moins chaud que par temps clair. Les pôles enneigés ne se réchauffent pratiquement pas car presque tous les rayons sont réfléchis en raison de leur forte inclinaison par rapport à la surface de la Terre. Pendant les dernières années, une partie de la banquise polaire a fondu. Les scientifiques s'en inquiètent car ceci indique que la température globale de la Terre augmente. La Terre peut absorber plus de chaleur lorsque la neige se transforme en eau, son albédo étant inférieur à celui de la neige.

	Albédo
Neige récente	86 %
Nuages très brillants	78 %
Nuages (moyenne)	50 %
Déserts terrestres	21 %
Sol sans végétation	13 %
Forêts (moyenne)	8 %
Cendres volcaniques	7 %
Océans	5 bis 10%



## Expérience 5

### Inclinaison des rayons du soleil

#### Matériaux

Une ampoule de 60 ou 100 watts.

Douille avec une rallonge.

Une feuille de papier et du ruban adhésif.

Un thermomètre d'ambiance.

Une poupée ou une craie qui représente une poupée.



Remarque : Fais attention au courant électrique et à l'ampoule chaude.

#### Procédure

Roule la feuille de papier et colle-la pour faire un écran, place-la sur l'ampoule pour concentrer sa lumière. Place d'abord l'écran perpendiculairement à la table, de sorte que le faisceau (l'ensemble des rayons lumineux) forme un cercle ; veille à ce qu'il éclaire le thermomètre et la poupée. Après 3 minutes, lis la température marquée par le thermomètre. Tu remarqueras que la poupée n'a presque pas d'ombre. Ensuite, incline l'écran de manière à ce que la lumière éclaire la table en diagonale, en tâchant d'être à la même distance que lors de la première expérience et qu'elle éclaire le thermomètre et la poupée. Tu verras que maintenant la zone illuminée forme une ellipse. Mesure la température après 3 minutes. Tu observeras qu'elle est inférieure à celle de la première expérience. Tu remarqueras aussi que la poupée maintenant projette une ombre.





## Observe

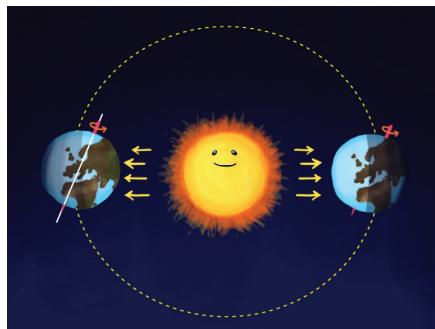
Lorsque le faisceau de lumière est circulaire, la température de la table est plus élevée que lorsque le faisceau est une ellipse. L'ombre de la poupée sera d'autant plus grande que le faisceau de lumière sera plus horizontal.

## Explique

Le rayonnement qui sort de l'ampoule, comme celui du Soleil, se présente sous forme de lumière et de chaleur. L'écran concentre la lumière et, lorsqu'il occupe moins d'espace, il concentre la chaleur en chauffant davantage la zone éclairée. Lorsque la même quantité de lumière est dispersée, la zone éclairée sera moins chauffée.

## Trouve-le dans la nature

La Terre tourne autour d'un axe incliné de  $23,5^{\circ}$  par rapport au plan sur lequel elle tourne autour du Soleil. Lorsque les rayons du Soleil frappent directement notre tête, l'ombre est presque nulle. Plus les rayons sont inclinés, plus il y aura d'ombre. Au cours de la journée, notre ombre change, ainsi qu'au fil des saisons. À midi, les rayons tombent directement sur nous. En hiver, tu remarqueras que ton ombre est plus longue qu'en été à la même heure. En hiver, plus on s'éloigne de l'équateur, plus les rayons du soleil seront inclinés. Plus les rayons sont inclinés, moins ils chauffent et plus les ombres sont longues. L'inclinaison de l'axe de rotation est à l'origine des saisons.



# Expérience 6

Chaleur spécifique. Combien d'énergie faut-il pour changer votre température ?

## Matériaux

Trois verres en plastique.  
De l'eau, de la terre, de l'air.  
Un thermomètre.



## Procédure

Remplis un verre d'eau, mets de la terre dans un autre verre (note qu'ici le mot terre commence par une minuscule car il désigne la matière et non la planète), et laisse le troisième vide (c'est-à-dire avec de l'air). Mets les trois verres au réfrigérateur, sors-les au bout de dix minutes et touche-les avec ton front. Compare-les pour savoir lequel est le plus froid. Ensuite, place les verres contenant de l'eau et de la terre au soleil pendant 5 minutes et mesure la température de l'eau et de la terre à l'aide d'un thermomètre.

## Observe

Lorsque tu sors les verres du réfrigérateur, tu peux te rendre compte que les verres contenant de l'air et de la terre sont plus froids que celui contenant de l'eau. Lorsque tu mesures la température de la terre et de l'eau après les avoir laissés 5 minutes au soleil intense, tu constateras que la terre est plus chaude que l'eau.



## **Explique**

L'eau, l'air et la terre ont des valeurs de chaleur spécifique différentes, cette chaleur spécifique étant une mesure de la quantité d'énergie nécessaire pour modifier la température d'un matériau. L'eau a besoin de quatre fois plus d'énergie que l'air ou la terre. Le verre contenant de l'eau se refroidit plus lentement. La même chose se produit lorsque tu les exposes au Soleil : l'énergie qui provient du Soleil, qui est la même pour tout le monde, chauffe la terre plus rapidement que l'eau.

## **Applique-le à ta vie**

On sait que tous les objets ont tendance à avoir la même température. Cela signifie que, s'il se passe beaucoup de temps sans qu'un objet soit exposé à une source de chaleur, il aura tendance à acquérir la température ambiante. Le temps nécessaire pour acquérir cette température dépend de sa chaleur spécifique et de la quantité de matériau.

L'homme, comme les mammifères et les oiseaux, régule sa température. Les animaux à sang chaud utilisent la majeure partie de l'énergie que nous consommons pour nous maintenir à une température constante (environ 36,5 °C), tandis que la température ambiante est presque toujours beaucoup plus basse. Les reptiles, à sang froid, dépendent de la chaleur ambiante pour augmenter leur température. Ainsi, par beau temps, ils bougent rapidement, tandis que la nuit, lorsque la température ambiante est plus basse, ils restent immobiles.

Le corps humain, comme la Terre, contient un pourcentage élevé d'eau et peut facilement réguler sa température grâce à sa chaleur spécifique élevée.



## **Comment cela affecte-t-il le temps ?**

Bien que l'océan absorbe presque toute la chaleur du soleil (son albédo est faible), sa température ne change presque pas à cause de sa grande chaleur spécifique. Si la planète n'était pas recouverte d'eau sur 71% de sa surface, les nuits seraient très froides. Les zones proches d'un lac ou d'un océan ont un climat beaucoup plus agréable que les déserts, où les changements de température sont extrêmes entre le jour et la nuit.

# Expérience 7

## Densité comme moteur de l'eau

### Matériaux

Colorant alimentaire végétal.  
Eau chaude.  
Glace.  
Un petit pot.  
Un écrou.  
Un grand récipient transparent.



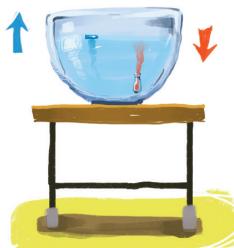
### Procédure

Prépare des glaçons bleus en ajoutant du colorant végétal à l'eau avant de la mettre au congélateur. En même temps, fais chauffer de l'eau dans le petit pot et ajoute quelques gouttes de colorant rouge. Place un écrou ou une vis dans le récipient d'eau chaude, plonge-le dans un récipient transparent contenant de l'eau ; ajoute la glace bleue dans le même récipient.



### Observe

L'eau chaude rouge à l'intérieur du récipient monte, tandis que l'eau froide et bleue qui provient de la glace fondue est submergée.



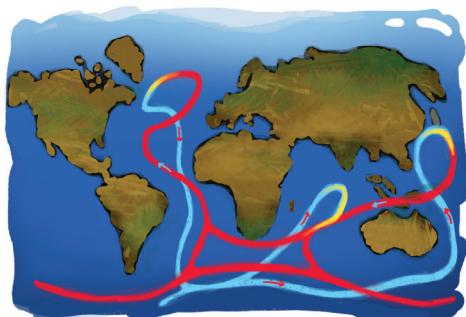
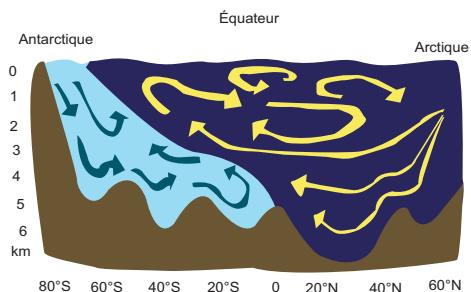
## Explique

L'eau, lorsqu'elle est chauffée, se dilate et occupe donc plus d'espace avec la même quantité d'eau (c'est-à-dire qu'elle devient plus légère) et monte. Fait intéressant, la glace flotte dans l'eau pour la même raison, car lorsqu'elle gèle, elle se dilate et devient moins dense que l'eau elle-même. Lorsque la glace fond, l'eau est encore froide et plus dense que l'eau qui l'entoure et elle descend.

L'eau a sa plus forte densité à 4°C. Lorsque sa température augmente elle se dilate et devient moins dense.

## Trouve-le dans la nature

Chaque fois que deux fluides (gaz ou liquide) se rencontrent à des températures différentes, et donc à des densités différentes, il se produit un mouvement. Le rôle que joue la convection (lorsque la chaleur est transmise par le mouvement d'un fluide) dans le climat est très important. Les vents et les courants océaniques sont générés par convection. Le mouvement des eaux océaniques à l'échelle mondiale est en partie dû à la montée des eaux chaudes et à la descente des eaux froides, transférant ainsi de grandes quantités de chaleur. Le courant thermohalinal mondial est le principal courant océanique. Note sur la figure que les eaux chaudes (en rouge) provenant de l'équateur et des tropiques se dirigent vers l'Atlantique Nord, ce qui permet à un courant océanique chaud d'entrer en contact avec l'Europe de l'Ouest. Cela explique que les pays qui se trouvent à la même latitude ont un climat différent. L'Angleterre est donc moins froide que l'est du Canada et la Russie est plus froide que l'Ecosse.



La circulation thermohaline mondiale

# Expérience 8

## Densité comme moteur éolien

### Matériaux

Une lampe.

Talc, farine, poudre ou autre matériau fin.



### Procédure

Allume la lampe la nuit. Étale du talc (ou tout autre matériau fin qui reste en suspension dans l'air) au-dessus de l'ampoule.

### Observe

Le talc monte avec l'air qui sort de la lampe.

### Explique

L'air se détend avec l'augmentation de la température et sa densité diminue. L'air moins dense flotte dans l'air le plus froid et monte. Dans l'expérience, l'air ascendant entraîne avec lui les particules de talc. Les gaz augmentent leur volume lorsque la température augmente et la pression diminue.

### Variations

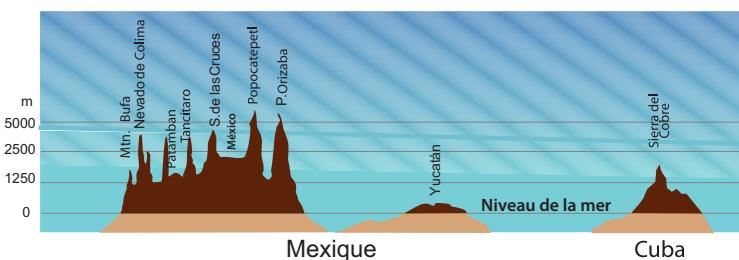
Cette expérience peut être vue à plusieurs reprises tout au long de la journée, lorsque quelqu'un fume une cigarette, dans un feu ou quand on fait bouillir de l'eau dans la cuisine.



## Comment la densité affecte-t-elle le temps ?

L'effet du réchauffement du Soleil commence lorsque ses rayons touchent la surface de la Terre, chauffant certains endroits plus que d'autres (en raison de l'effet de l'albédo mentionné plus haut et de l'inclinaison des rayons du soleil par rapport à la surface de la Terre). L'air est plus chaud au niveau de la mer et, par conséquent, il monte ; plus il monte, plus la pression atmosphérique diminue et les molécules d'air peuvent se séparer ; quand les molécules se séparent, l'air se refroidit.

Dans l'atmosphère terrestre, la température diminue d'environ 6,5°C tous les mille mètres. C'est la raison pour laquelle les volcans et les plus hautes chaînes de montagnes sont recouverts de neige même s'ils se trouvent dans une zone chaude comme l'équateur (par exemple le volcan Cotopaxi) ou dans une zone tropicale (par exemple le Pico de Orizaba et le Nevado de Colima). Cela explique également que la ville de Mexico a une température agréable, autour de 22°C, tandis que le Popocatepetl, qui se trouve à côté, présente un sommet enneigé.



Profil de l'Amérique du Nord, d'ouest en est, à 20° de latitude

# Expérience 9

## L'effet Coriolis

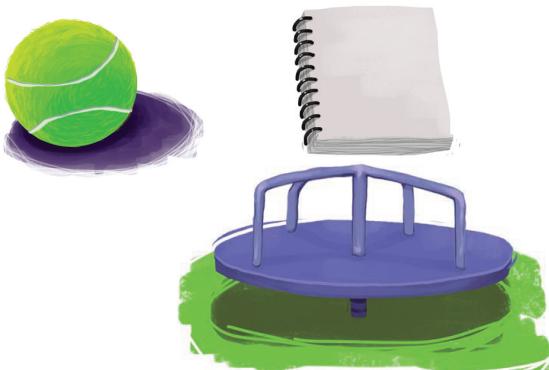
Tu as peut-être entendu dire que, lorsque l'eau est évacuée d'un évier situé dans l'hémisphère nord, elle tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, alors qu'elle tourne dans l'autre sens dans l'hémisphère sud. On dit que cela est dû à l'effet Coriolis. Tout d'abord, il est clair que c'est faux, car la rotation ne peut pas affecter des masses d'eau si petites, mais ce mythe a permis la vulgarisation de l'effet Coriolis.

L'effet Coriolis explique la déviation de la trajectoire d'un corps qui se déplace sur une surface en rotation. Comme la Terre a de l'air et de l'eau à sa surface, la trajectoire du mouvement de ces fluides est modifiée par la rotation de la Terre, et cet effet a été utilisé pour expliquer la direction des vents et des courants marins. Pour comprendre le fonctionnement de l'effet Coriolis, commence par en faire l'expérience :

### Matériaux

Un disque en rotation, par exemple un petit manège ou une feuille de papier que tu peux tourner à la main.

Une balle ou un crayon.



### Procédure

Fais rouler la balle sur le disque pendant qu'il tourne ; fais-la d'abord partir du centre du disque vers l'extérieur, puis de l'extérieur vers le centre. Tourne le disque dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre. Une autre façon de faire cette expérience est de prendre une feuille de papier et de demander à quelqu'un de tracer une ligne droite en même temps que tu tournes la feuille. Demande-lui d'abord de tracer la ligne de l'extérieur vers le centre, puis du centre vers l'extérieur.





## Remarque

Si nous lançons la balle (ou dessinons la ligne) de l'extérieur vers le centre ou du centre vers l'extérieur, les trajectoires seront courbées dans le sens des aiguilles d'une montre.

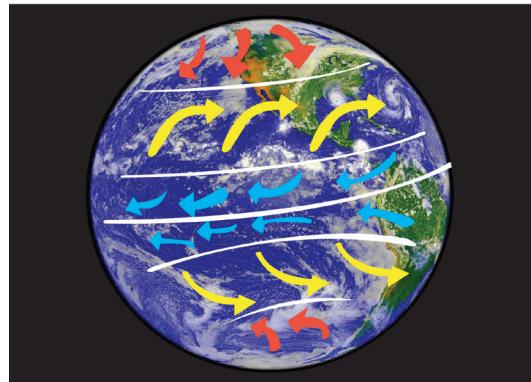
## Variations

Si nous faisons tourner le disque dans le sens des aiguilles d'une montre, les chemins seront inversés.

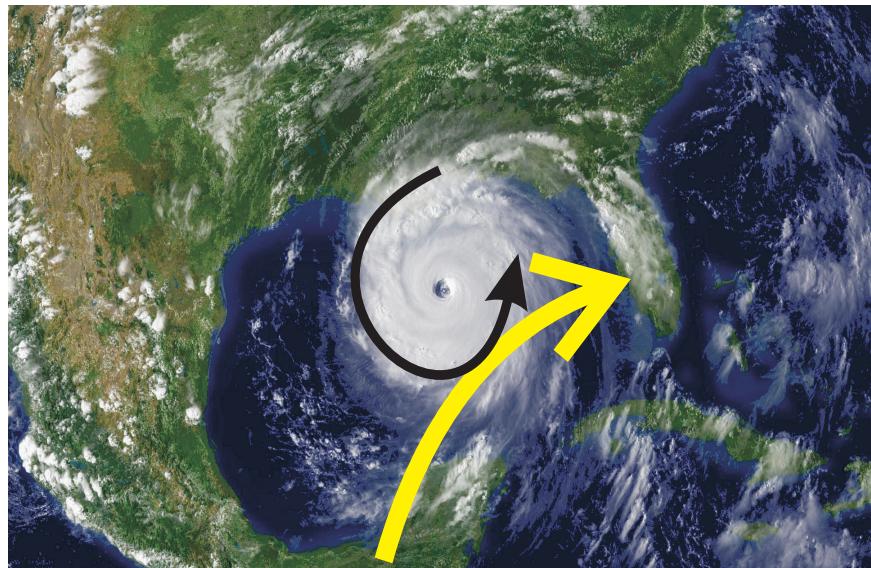
## Comment agit l'effet Coriolis sur la Terre ?

Nous tournons avec la Terre lorsque nous sommes debout, mais les fluides (air et eau) se déplacent à des vitesses différentes de celles de la Terre solide. À l'équateur, les vents et les courants marins se déplacent vers l'ouest.

Dans l'hémisphère nord, les vents dominants qui se déplacent vers le nord sont déviés vers le nord-est, tandis que ceux qui se déplacent vers le sud sont déviés vers le sud-est. Ainsi, en raison de la rotation de la Terre, les courants et les vents tournent dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et inversement dans l'hémisphère sud.



Si tu regardes une image satellite de la Terre, tu verras que les cyclones de l'hémisphère nord tournent dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Une façon de l'expliquer est que le cyclone étant une zone de basse pression, il a tendance à attirer l'air ambiant qui, du fait de l'effet Coriolis, se déplacerait dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord. Cela provoque que la zone centrale, c'est-à-dire la zone du cyclone, tourne dans le sens opposé, comme indiqué sur la figure. La même chose se produit lorsque tu frappes un disque en rotation d'un mouvement de ta main vers la droite et que le disque se déplace dans la direction opposée.



# Conversation sur le pendule de Foucault

Miguel de Icaza Herrera

Cette conversation entre les enfants Julia, José et Juan a lieu dans les locaux du centre éducatif et culturel Manuel Gómez Morín de l'État de Querétaro. Là est installé le plus beau pendule de Foucault du Mexique. Les enfants font référence aux ateliers du projet Sophie du Centre de physique appliquée et de technologie de pointe de l'UNAM, dans lesquels la science est connue des enfants. Tous les enfants sont les bienvenus, surtout en été.

**Juan.** Moi, je n'ai pas compris. Oui, la boule est très jolie. Je pense que je pourrais la regarder longtemps sans m'ennuyer, mais je n'ai pas compris l'explication qu'Ulysse nous a donnée.

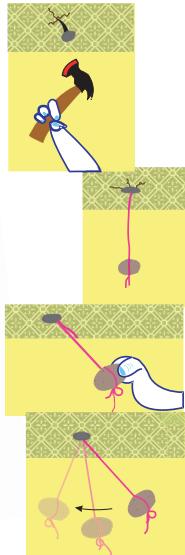
**José.** Il a d'abord expliqué comment fabriquer un fil à plomb. Il nous a dit qu'il suffisait d'attacher un fil à un caillou et de suspendre le fil à un petit clou.

**Juan.** Jusque là, tout va bien. Mais ensuite, Ulysse a déclaré qu'il fallait attendre jusqu'à ce qu'il ne bouge plus. Je ne comprends pas comment il va bouger tout seul. C'est une pierre ! Ce n'est pas vivant !

**José.** Oui, il a expliqué que dès que le fil à plomb est suspendu, il est en mouvement, mais de moins en moins. Si nous attendons qu'il cesse de bouger, le fil indique la direction du centre de la Terre.

**Juan.** Et qu'est-ce que cela a à voir avec les maçons ?

**José.** Et bien, que faisais-tu ? Il nous a expliqué qu'il est utilisé pour que les maisons soient droites et non tordues.



**Julia.** Ce qu'il a dit à propos de la rotation de la Terre m'a paru beaucoup plus intéressant. Et moi, je me suis mise à voir le pendule de Querétaro, très grand, et, le voyant tourner lentement, j'avais même l'impression de sentir que la Terre tournait.

**Juan.** Là, je ne savais même pas de quoi il parlait.

**José.** C'est de ta faute. Tu prenais des chocolats, et comme tu te cachais pour qu'on ne te voie pas, tu ne faisais pas attention. Dis Julia,



et toi, tu as bien compris ? Il semblait même qu'il parlait des planètes !

**Julia.** Quelles planètes ? T'as vu sûrement La Guerre des Etoiles !

**José.** Eh oui, rappelle-toi qu'il a parlé de l'orbite de la lentille.

**Juan.** Quelle lentille ?

**José.** On appelle comme ça la pierre ou ce qui est suspendu au fil pour faire le pendule.

**Julia.** Ulysse appelle orbite le chemin emprunté par la lentille qui est à tout moment attachée par le fil.

**Juan.** D'abord, quel chemin ? Je n'ai vu que la dite lentille se promener d'un côté à l'autre.

**José.** Eh bien, je ne vois vraiment pas comment t'expliquer. Un âne debout doit avoir des idées plus claires.

**Julia.** Eh bien, toi, tu as vu ces avions qui peignent le ciel avec de la fumée. Ils laissent ces marques qui indiquent leur chemin.

**Juan.** Eh bien, je n'ai pas vu la fumée laissée par les lentilles !

**José.** (qui commence à s'énerver). Avec ou sans fumée, la route est simplement l'endroit où va la lentille.

**Julia.** N'oubliez pas qu'Ulysse nous a montré comment la lentille pouvait se déplacer en forme d'ellipse.

**Juan.** En quoi ?

**Julia.** Oui, ces espèces de cercles écrasés. Rappele-toi que la semaine dernière nous avons joué à la géométrie.

**José.** Ce que nous avons construit avec un fil et deux petits clous ? (voir la figure 1).

**Julia.** Exactement ! N'oublie pas que nous avons passé tout l'après-midi à dessiner des cercles écrasés !

**José.** C'était vraiment amusant ! Tout ce que nous devions faire était de clouer deux petits clous et d'y attacher le fil, puis de dessiner avec un crayon en prenant soin que le fil soit tendu.

**Julia.** Cette partie était très importante : c'était toujours le même fil, mais les clous étaient placés à des distances différentes entre eux. Et lorsque les clous étaient très proches les uns des autres, nous avons obtenu quelque chose qui ressemblait à un cercle, tandis que lorsque les clous étaient très séparés, on avait une longue figure appelée ellipse, et cette figure pouvait devenir de plus en plus mince en éloignant de plus en plus les deux petits clous, de telle sorte que, finalement, la figure ressemblait presque à une ligne.

**José.** Je n'avais pas remarqué. Tu en es sûre ?

**Julia.** Ulysse nous a dit que la lentille se déplaçait normalement de sorte que son orbite était une ellipse, et que cette orbite pourrait devenir un mouvement rectiligne, si on y faisait attention.

**Juan.** recti... Recti quoi ?

**José.** On dit « rectiligne », c'est-à-dire « en ligne droite ».

**Juan.** Ah... À propos, qu'elle est belle la grande boule !

**Julia.** C'est bien plus beau sa sensibilité au plus faible mouvement de rotation de la Terre. Si faible que nous ne nous en apercevons pas.

**José.** Je me souviens qu'il a dessiné la Terre, et nous a montré l'équateur et l'axe de la Terre. Et puis il a choisi un point sur le périmètre de ce cercle et nous a dit que ce point représentait Querétaro. Cependant, je ne me souviens pas de la règle. (voir la figure 2).

**Julia.** Réfléchissez. Faites travailler votre mémoire. Rappelez-vous que nous avons dessiné un triangle.

**José.** Tu as raison ! Nous avons tracé une ligne pour relier le centre de la Terre avec le point qui représente Querétaro ! Et puis ? J'ai déjà oublié !

**Julia.** Rien. Juste pour que vous n'oubliez pas, je vous rappelle que cette ligne s'appelle le rayon.

**Juan.** De ça, je m'en souviens, car c'est quand Ulysse a glissé. Il a pris une règle et a fait passer par le point qui représente Querétaro une ligne verticale

jusqu'à l'équateur, et il y a écrit la lettre h.

**Julia.** Eh bien, tu as raison, mais ce qu'il a fait, c'est de tracer une ligne parallèle à l'axe de rotation de la Terre et de la prolonger jusqu'au point d'intersection avec l'équateur.

**Juan.** Et à quoi bon, tous ces triangles ?

**Julia.** Regarde, Juan. Comment ça tous ces triangles ? Il n'y en a qu'un !

**Juan.** Bon, d'accord. Et ce triangle, à quoi il sert ?

**José.** Moi non plus, je n'ai pas compris.

**Julia.** La réponse est dans ce triangle. Tout ce que nous avons à faire est de mesurer les... les lignes, comme Juan les appelle, celle qui unit Querétaro au centre de la Terre, c'est-à-dire le rayon du cercle que nous pouvons représenter au moyen de la lettre r, et celui du parallèle de Querétaro que nous avons indiqué avec un h, qui est la hauteur de Querétaro au-dessus de l'équateur.

**Juan.** Je peux imaginer combien coûte le mètre pour faire ces mesures. Mon père a dû en acheter un de 5 m pour mesurer la maison, et c'était assez cher !

**Julia.** Non ! On n'a pas besoin d'un ruban de 600 km de long ! On peut utiliser un dessin à l'échelle, car ce qui nous intéresse, c'est le rapport du rayon r à la hauteur h, c'est-à-dire  $r / h$ . Je me souviens que la division que nous avons faite entre tous, a donné...

**Juan.** Oui, ça a donné 2.8. Et alors, quoi ?



Figure 1. Comment dessiner une ellipse avec deux clous, un fil et un crayon.

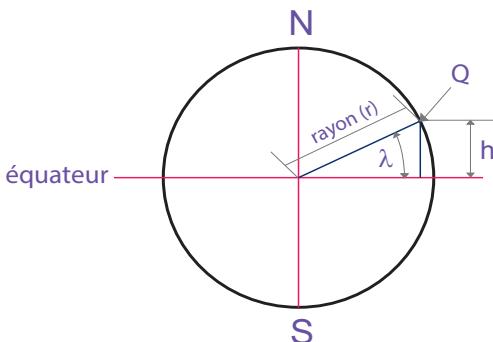


Figure 2: La position de Querétaro dans le cercle de la Terre. L'angle  $\lambda$  est ce qu'on appelle la latitude. Cette figure est dessinée à l'échelle : le lecteur peut l'utiliser pour y mesurer le rayon  $r$  et la hauteur  $h$  et vérifier lui-même le résultat.

**Julia.** Eh bien, ça, c'est la règle pour calculer le temps qu'il faut au pendule pour faire un tour complet. Vous souvenez-vous quand elle est correcte ?

**José.** Je me souviens qu'il l'a dit, mais je ne sais plus ce qu'il a dit.

**Julia.** C'est très simple : la règle s'applique au cas où la lentille se déplace le long d'une ellipse très très fine, si fine qu'elle ressemble à une ligne droite.

**José.** Ah..., c'est ce que tu voulais dire tout à l'heure, lorsque tu parlais du mouvement rectiligne, n'est-ce pas ?

**Julia.** Eh bien, il se trouve que la ligne le long de laquelle la lentille se déplace, c'est-à-dire l'orbite, n'est pas fixe, mais tourne très lentement dans le sens des aiguilles d'une montre.

**José.** Donc, ça signifie que la lentille ne continue donc pas à suivre son va-et-vient sur le même chemin, mais que ce chemin tourne ?

**Julia.** Exactement! Et le temps qu'il faut pour que cette route fasse un tour complet est de deux virgule huit.

**Juan.** Deux virgule huit quoi ?

**Julia.** Deux virgule huit jours, soit presque trois jours. Comme un jour a 24 heures, rappelez-vous qu'on a multiplié  $24 \text{ h} \times 2.8$  et on a obtenu 67.2 h.

**José.** Cela signifie-t-il que la lentille effectue ce tour en réponse à la rotation de la Terre en un peu plus de 6 heures ?

**Julia.** Justement ! Ici, franchement, je ne comprends pas pourquoi tu ne demandes pas à Ulysse et que tu me demandes à moi ! Rappelle-toi que nous apprenons seulement si nous posons des questions !

**José.** Ah oui, je m'en souviens. Ulysse nous a dit que ce même résultat est présenté différemment dans les livres. Il nous a expliqué que les adultes préfèrent parler de la vitesse de rotation de la Terre et de la vitesse de rotation de l'orbite.

**Juan.** Maintenant, il semble que ce n'est pas Ulysse que nous écoutons mais le professeur Nutty.

**Julia.** Pourquoi tu dis cela ?

**Juan.** Parce que José utilise des mots étranges. N'a-t-il pas parlé de la vitesse de rotation de la Terre ?

**Julia.** Bon, oui, mais comment veux-tu qu'il l'appelle ? La règle mentionnée par Ulysse relie deux vitesses, l'une est la rotation de la Terre et l'autre, la vitesse de rotation de l'orbite de la lentille.

**Juan.** En tout cas, je ne sais pas quelle est cette vitesse de rotation de la Terre, et d'ailleurs l'autre non plus.

**José.** C'est faux ! Toi, oui tu le sais, et tout le monde le sait.

**Juan.** Comment ça, tout le monde ?

**José.** Eh bien, tout le monde le sait, mais il est essentiel d'y réfléchir un instant. Et voilà peut-être ton problème...

**Juan.** Qu'est-ce que t'insinues ? Tu te trompes ! Moi, je ne connais pas la vitesse de la Terre !

**José.** Je ferais mieux de te le dire, et tu me diras si tu le sais ou pas. La vitesse de la Terre est d'un tour par jour. Voilà ! C'est tout !

**Juan.** Eh bien oui, franchement, il faut reconnaître que je le savais.

**Julia.** En d'autres termes, la vitesse de rotation est le numéro un, et puisque nous devons le multiplier par la mesure  $h$  de la ligne parallèle et le diviser par le rayon  $r$ , la vitesse de rotation de l'orbite de la lentille vaut simplement le rapport  $h/r$ .

**José.** Ulysse nous a expliqué que l'angle entre l'équateur et la droite reliant le centre de la Terre à Querétaro s'appelle la latitude de Querétaro (voir la figure 2). Il nous a dit qu'il allait nous apprendre à trouver l'étoile polaire et à mesurer la latitude de Querétaro.

**Juan.** Oui, et il nous a également dit que nous allions jouer à la trigonométrie la semaine prochaine, et qu'après cela, nous comprendrions pourquoi on dit que la vitesse de rotation de l'orbite de la lentille est égale au sinus de la latitude où est installé le pendule.

**Julia.** Tiens, mes parents sont venus me chercher. À bientôt !

## Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier José Ramón Hernández, Manuel Lozano Leyva, Fernando García, Teresa Orozco et Gilles Levresse qui ont passé en revue l'aspect technique du manuscrit. Janet Sánchez Sánchez a donné son appui dans l'édition du site internet.



## À PROPOS DES AUTEURS

### **Susana A. Alaniz Álvarez**

Chercheur titulaire « C » au Centre de Géosciences de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM). Elle a obtenu le diplôme en ingénierie géologique, la maîtrise en sciences et le doctorat en sciences de la Terre de l'UNAM. Elle est membre de l'Académie Mexicaine des Sciences et membre numéraire de l'Académie d'Ingénierie. Elle a écrit plus de 65 articles scientifiques sur la déformation de la croûte supérieure et ses relations avec le volcanisme. Elle a été éditrice en chef de plusieurs livres et revues scientifiques. Elle a le niveau III du Système National des Chercheurs. Elle est chargée du cours de géologie structurale au Master en Sciences de la Terre de l'UNAM. En 2004, elle a reçu le prix Juana Ramírez de Asbaje de l'UNAM.

### **Angel F. Nieto Samaniego**

Docteur en géophysique de l'Université Nationale Autonome du Mexique. Il est professeur diplômé et membre de l'Académie des Sciences du Mexique. Il a été président de la Société Géologique Mexicaine, éditeur du volume commémoratif du Centenaire de cette société et membre du comité éditorial de plusieurs revues scientifiques. Il a publié 75 articles sur la théorie de la fracturation et sur la déformation cénozoïque du Mexique. Il est actuellement chercheur titulaire «C» du Centre de Géosciences de l'UNAM à Juriquilla, Querétaro.

### **Miguel de Icaza Herrera**

Il a étudié la physique à la Faculté des Sciences de l'Université Nationale Autonome du Mexique (1970-1973) et a obtenu un doctorat de troisième cycle à l'Université de Poitiers (1973-1976) en France avec la mention "Très honorable". De 1980 à 1990, il a conçu, développé et exploité le grand canon du laboratoire de haute pression dynamique de l'Institut de physique de l'UNAM, toujours en activité. Depuis 1991, il est responsable du laboratoire des ultrasons, transféré au Campus Juriquilla depuis 1997. Il est membre du Centre de physique appliquée et de technologies de pointe de l'UNAM.



## A PROPOS DES TRADUCTEURS

### **Thierry Calmus**

Il a obtenu son Doctorat en Géologie Structurale à l'Université Paris VI en 1983. Il est chercheur titulaire « C » à l'Institut de Géologie de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM), membre de l'Académie des Sciences Mexicaine ainsi que du Système National des Chercheurs (SNI). Il a reçu le prix du Professeur de l'Année en 2017 attribué par l'Union Géophysique Mexicaine. Il a publié 60 articles scientifiques, dont un grand nombre sur la géologie et la tectonique du nord-ouest du Mexique. Il a été co-éditeur en chef de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas de 2012 a 2016 ainsi que chef de la Station Régionale du Nord-Ouest de l'Institut de Géologie de 2002 à 2011 et depuis 2018.

### **Sandra Fuentes Vilchis**

Elle a obtenu sa licence en Littérature Française en 1986 et sa maîtrise en Littérature Comparée en 1993 à l'Université Nationale Autonome du Mexique, ainsi que son Diplôme en Traduction à l'Ambassade de France en 1989. Elle est professeure titulaire à l'École Nationale Préparatoire et a été Responsable du Département de Français dans cette Institution. Elle participe à la Commission d'évaluation des professeurs de l'ENP. Elle a participé à plusieurs programmes PAPIME et INFOCAB de l'UNAM.

### **Paola Garcés**

Elle rédige actuellement son mémoire de maîtrise en Lettres Modernes à l'Université Nationale Autonome du Mexique. Elle a obtenu sa licence en Langue et Littérature françaises à l'UNAM en 2009 et son diplôme comme professeur de français en 2004 attribué par la Commission de Langues Étrangères, UNAM. Elle est professeure titulaire à l'École Nationale Préparatoire de l'UNAM. Elle a participé à des projets pour la diffusion du français à travers les sciences de la vie et de la santé et à des projets sur l'enseignement bilingue, concrètement avec les matières de Géographie et de Biologie.

« Des expériences simples pour comprendre une Terre compliquée. Le temps suspendu à un fil », édité par le Centre de Géosciences de l'Université Nationale Autonome du Mexique. Les polices utilisées ont été Times New Roman et Verdana dans le corps du texte et Carlisle en couverture. L'édition a été confiée à Juan Carlos Mesino Hernández.



L'impression de ce numéro a été financée par la Coordination de la recherche scientifique de l'UNAM.

PAPIME PE106919



La série "Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée" est basée sur la liste des plus belles expériences de l'histoire, publiée par le magazine Physics World en septembre 2002. Elles ont été choisies pour sa simplicité, son élégance et pour le changement qu'elles ont provoqué dans la pensée scientifique de son époque.

Chaque numéro de cette série est consacré à l'une de ces expériences. Notre objectif est de te faire comprendre, par des expérimentations, des phénomènes qui se produisent à la fois dans notre vie quotidienne et sur notre planète.

Ce numéro est consacré à l'expérience "Le pendule de Foucault".

Livres de cette série:

1. La pression atmosphérique et la chute des corps.
2. La lumière et les couleurs.
3. EUREKA ! Les continents et les océans flottent !
4. Le temps suspendu à un fil.

La série complète peut être téléchargée sur le site:

<http://www.geociencias.unam.mx>

<https://sites.google.com/site/recursos4miradas/8>