

# DES EXPÉRIENCES SIMPLES POUR COMPRENDRE UNE PLANÈTE COMPLIQUÉE

## I. LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE ET LA CHÛTE DES CORPS



SUSANA A. ALANIZ ÁLVAREZ AND ÁNGEL F. NIETO SAMANIEGO  
IMAGES: LUIS D. MORÁN

TRADUIT PAR: SANDRA FUENTES VILCHIS  
PAOLA GARCÉS, GILLES LEVRESSE

# Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée

## 1. La pression atmosphérique et la chute des corps

Textes: Susana A. Alaniz Álvarez, Ángel F. Nieto Samaniego  
Images: Luis D. Morán  
Mise en page: Jesús Silva Corona

Traduit par:  
Sandra Fuentes Vilchis  
Paola Garcés  
Gilles Levresse

---

## **Universidad Nacional Autónoma de México**

### **Enrique Luis Graue Wiechers**

Recteur

### **Leonardo Lomelí Vanegas**

Secrétaire général

### **Alberto Ken Oyama Nakagawa**

Secrétaire administratif

### **Maria Teresa Uriarte Castañeda**

Coordinateur de la Diffusion Culturelle

### **William Henry Lee Alardín**

Coordinateur de la Recherche Scientifique

### **Gerardo Carrasco Núñez**

Directeur du Centro de Geociencias

### **Joaquín Díez Canedo Flores**

Directeur de la publication et le développement Editorial

### **Susana A. Alaniz Álvarez**

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

### **Manuel Lozano Leyva**

Coordinateurs de la Série

### **Jesús J. Silva Corona**

Conception et formation

---

Première édition: juillet 2017

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México

Centro de Geociencias

Universidad Nacional Autónoma de México

Boulevard Juriquilla No. 3001, Querétaro

C.P. 76230, México

ISBN (Collection intégrale) 978-607-02-9411-2

ISBN: 978-607-02-9412-9

*Imprimé et fabriqué au Mexique*

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

# INDEX

Preface

Introduction

Galileo Galilei

<b>1. La bouteille est-elle vide ?</b> .....	<b>7</b>
La Loi de Charles et Gay-Lussac	
<b>2. Le verre dont l'eau ne coule pas</b> .....	<b>9</b>
La pression atmosphérique	
<b>3. Une bougie qui fait monter de l'eau</b> .....	<b>11</b>
La relation pression-volume	
<b>4. Comment faire passer une aiguille au travers d'un ballon sans le faire éclater</b> .....	<b>13</b>
La Loi de Boyle	
<b>5. Comment faire couler un compte-gouttes vide</b> .....	<b>15</b>
Les principes de Pascal et d'Archimède	
<b>6. Fais-les s'envoler</b> .....	<b>17</b>
La résistance de l'air	
<b>7. On descend !</b> .....	<b>19</b>
Fais une expérience sur la chute des corps à la manière de Galileo Galilei	
<b>8. Lequel tombe le premier ?</b> .....	<b>21</b>
La loi de la gravité	
<b>9. Sur le toboggan</b> .....	<b>23</b>
Découvrez le plan incliné à la manière de Galileo Galilei	
<b>Annexe</b> .....	<b>25</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>26</b>
<b>A propos des auteurs</b> .....	<b>26</b>

## Préface

Depuis 2009, plusieurs chercheurs et étudiants de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM) ont réalisé des ateliers scientifiques pour les enseignants des écoles primaires, basés sur les livres de la série « Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée ». A partir des échanges avec les enseignants, nous avons découvert qu'il était nécessaire d'inclure dans ce livre l'expérience du "plan incliné" de Galilée.

Nous pensons qu'il peut être fascinant de découvrir comment est né le concept scientifique de l'accélération gravitationnelle. Galilée a fait de nombreuses expériences avant de découvrir que la vitesse des corps durant leur chute ne dépend pas de leur poids et que cette vitesse augmente. Ceci est particulièrement difficile à percevoir sur la Terre à cause de l'atmosphère. C'est pourquoi dans ce livre nous proposons une approche facile, avec des matériaux de la vie quotidienne, grâce à cinq expériences sur l'air, puis quatre expériences conçues par Galilée pour expliquer la chute des corps.

## Introduction

La place de l'Homo sapiens dans l'histoire de la Terre est extrêmement récente. L'Homo sapiens n'est présent que dans les dernières 200000 années de la vie de la Terre qui a commencé sa formation il y a 4 500 millions d'années. L'homme n'occupe qu'un espace de 2 m à la surface de la Terre, dont le rayon mesure plus de 6380 km, et sous une atmosphère de près de 120 km.

Cependant, nous les humains, nous nous sommes engagés à connaître en profondeur notre planète, par le calcul ou l'estimation de la valeur de ses attributs physiques: sa masse, son volume, sa densité, sa température, sa pression... des données hors des limites compréhensibles par ses seuls sens.

On peut se demander pourquoi cette créature insignifiante connaît aussi bien la nature de sa planète et à quoi est due son insistance à démêler les lois qui la régissent.

Une réponse, entre autres, peut être la curiosité de certains personnages qui ont osé regarder au-delà de leurs horizons. L'un d'entre eux sans aucun doute était Galileo Galilei.

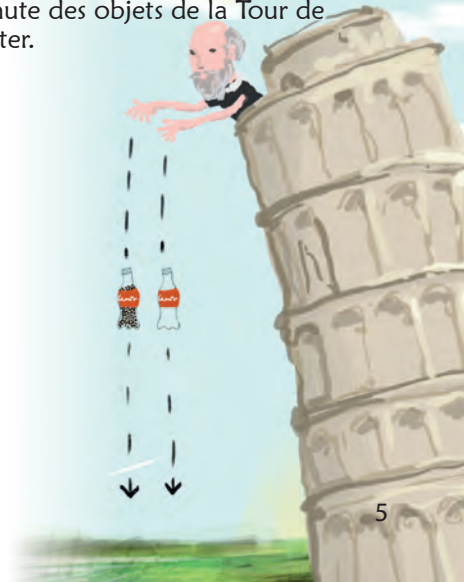
## Galileo Galilei (1564-1642)

Une grande partie des progrès de la physique sont dus à Galileo Galilei, le fondateur de la science expérimentale. Professeur de mathématiques né à Pise, en Italie, il était le fils aîné d'un joueur de luth virtuose. Il n'a pas seulement étudié le mouvement de la Terre, mais également du système solaire. Il s'est rendu célèbre par l'expression «et pourtant elle tourne», qu'il aurait dit devant un jury de l'Inquisition.

Peu importe s'il a vraiment dit cette phrase. Nous s'avons, qu'il a découvert le secret du mouvement d'un pendule pendant la messe à l'église, quand il observait le balancement d'une lampe dans la cathédrale de Pise et il mesurait le temps avec les battements de son cœur. Au XVIIe siècle, il n'y avait pas de système de mesure du temps tel que nous le connaissons maintenant. Il a quand-même mesuré toutes ses expériences, d'abord avec les battements de son cœur, puis avec le mouvement d'une pendule, puis avec la quantité d'eau qui tombait dans une éprouvette graduée, et il a même utilisé une pièce de musique jouée par lui au luth pour marquer le temps sur la partition.

Il a réussi à scruter le ciel et a conçu un télescope qui grossissait 8 fois, qui lui a permis de découvrir les cratères de la Lune, les taches solaires, l'anneau de Saturne et les lunes de Jupiter. Il a aussi compris que Copernic avait raison et que la Terre tourne vraiment autour du soleil. A la seule différence que lui l'a publié, ce qui lui a valu de nombreux problèmes avec l'Église catholique et une grande souffrance dans sa vie, jusque-là pleine de succès.

Le génie de Galilée, c'est qu'il a réussi à mesurer l'espace et le temps, et qu'il a établi des formules mathématiques pour décrire le mouvement, depuis la chute des objets de la Tour de Pise, jusqu'au déplacement de Jupiter.





Fais une expériences sur... la présence de l'air

# 1. LA BOUTEILLE EST-ELLE VIDE ?

As-tu remarqué que l'air existe, même si on ne le voit pas, et qu'on en respire avec le nez et la bouche?

## Matériaux

- 1 bouteille en plastique
- 1 ballon
- 2 récipients, l'un avec de l'eau chaude, l'autre avec de l'eau froide avec des glaçons



## PROCÉDURE



1. Couvre le goulot de la bouteille avec le ballon.
2. Remplis un récipient avec de l'eau chaude et l'autre avec de l'eau froide.
3. Mets la bouteille dans le récipient avec de l'eau chaude, puis passe-la dans le récipient de l'eau froide.

Regarde !



## QUE SE PASSE-T-IL ?

Dans l'eau chaude le ballon se gonfle ; dans l'eau froide, il se dégonfle.

• Variantes:

\* Mets la bouteille au congélateur.

\* Fais-le avec une bouteille de boisson gazeuse.

L'expérience peut échouer si, il y a une fuite d'air entre le ballon et la bouteille, ou si, la différence de température de l'eau entre les deux récipients n'est pas suffisamment élevée pour changer de manière significative le volume d'air à l'intérieur de la bouteille.



## EXPLICATION

L'air est un gaz, donc il se dilate avec l'augmentation de la température et occupe ainsi plus d'espace.

A l'inverse, le froid fait que le gaz se comprime et il occupe ainsi moins d'espace. Attention, la quantité d'air est toujours la même !

## DANS LA VIE QUOTIDIENNE

Les montgolfières volent parce que l'air chaud se dilate jusqu'à ce qu'il pèse moins que l'air qui l'entoure.

Les plongeurs respirent sous l'eau grâce à l'air comprimé qui est dans un réservoir. Ceci permet de mettre beaucoup d'air dans un espace restreint.



Loi de Charles Gay-Lussac:  
“Le volume d'un gaz est directement proportionnel à sa température si la pression reste constante”

## EN SAVOIR PLUS

Les gaz peuvent modifier leur volume par un changement de température ou de pression. Avec plus de température et moins de pression, les gaz occupent plus de volume.

## DANS LA NATURE

### L'atmosphère

L'atmosphère correspond à l'enveloppe gazeuse qui entoure la planète. Elle est composée d'un mélange de gaz variés que nous appelons air.

La température de l'air diminue avec l'altitude de 6,5 °C tous les 1000 m. Si l'on considère que la température moyenne au niveau de la mer est de 20 °C, la température de congélation de l'eau sera atteinte à presque 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

L'atmosphère se compose d'environ 78% d'azote, 21% d'oxygène et 1% d'autres gaz, plus la vapeur d'eau, qui peut varier entre 0% et 5% du volume total. Plus la quantité de vapeur d'eau augmente dans l'atmosphère, plus la quantité des autres gaz diminue.

### Loi de la dilatation des gaz de Gay-Lussac

“La dilatation des gaz dépend de la température et reste indépendante de la nature de ceux-ci.”

## 2. LE VERRE DONT L'EAU NE COULE PAS



As-tu remarqué comment ton verre de lait se vide lorsque tu le retournes ? Sommes-nous au fond d'une mer d'air ?

### MATÉRIAUX

- 1 verre d'eau
- 1 morceau de papier

### PROCÉDURE

1. Couvre l'embouchure du verre d'eau avec un morceau de papier et vérifie que le papier est en contact avec le liquide.
2. Mets ta main sur le papier et retourne le verre, puis enlève ta main du papier.



(Fais-le dans la cour, au cas où l'expérience ne fonctionne pas.)

### QUE SE PASSE-T-IL ?

Bien que le verre soit à l'envers l'eau ne tombe pas, et ce que le verre soit plein ou à moitié vide.

#### • Variantes

- \* Mets une paille dans un verre d'eau et bouche-la avec ton doigt. Sors la paille de l'eau... et tu verras que l'eau ne sort de la paille que lorsque tu enlèves ton doigt.



### EXPLICATION

L'air en contact avec la surface de la Terre est une couche qui mesure plusieurs kilomètres de hauteur et que nous appelons atmosphère. Plus on est près de la mer, plus cette couche est grande.

Cette couche d'air pousse dans toutes les directions, même vers le haut, et ainsi elle surpasse le poids de l'eau ; voilà pourquoi l'air dans le verre ne tombe pas.

L'expérience peut échouer si de l'air entre dans le verre.

## DANS LA VIE QUOTIDIENNE

Un biberon doit avoir une entrée d'air pour permettre la sortie du lait lorsque le bébé tète.

On perce deux trous sur les canettes contenant des liquides pour que l'entrée d'air par l'un d'eux permette la sortie du liquide de l'autre côté.

## EN SAVOIR PLUS

### Pression atmosphérique

L'atmosphère est composée de plusieurs couches. L'air, comme n'importe quel matériau, a un poids même si c'est très peu. Le poids de l'air qui nous entoure exerce une pression égale dans toutes les directions. La couche de l'atmosphère la plus proche de la surface terrestre est appelée la troposphère ; elle mesure jusqu' à 9 km aux pôles et 18 km au niveau de l'Équateur. Le poids de l'air est de 0,001 kilogramme par

Altitude (m)		Pression (atmosphère)	Pression (millibars)
0	Pression (millibars)	1	1013
1000			89 836
2000	Ciuda du Mexique	.78	794.8
3000	La Paz, Bolivia	.70	700.9
4000		.61	616.2
5000	Sommet du Popocatépetl	.53	540
10000	Transatlantique altitude de vol	.26	264.1
15000		.12	120.3

litre d'air \*(1 litre = 1 décimètre cube). En comparaison, le poids de l'eau est de 1 kilogramme par litre, et celui d'une roche pèse en moyenne 2,3 kilogrammes par litre. Le corps humain a un poids moyen de 0,95 kilogramme pour le même volume de un litre (c'est très proche de celui de l'eau). Le poids de la colonne d'air produira une pression beaucoup plus grande au niveau de la mer qu'au sommet d'une montagne.

\* Remarque: Dans le langage quotidien, on mesure le poids en «kilos». En langage technique, le poids doit être indiqué en unités de force (kilogramme force ou gramme force).

## Expériences... sur le changement de volume de l'air

# 3. UNE BOUGIE QUI FAIT MONTER DE L'EAU



As-tu remarqué que le niveau de l'eau dans un récipient (dans un verre incliné, sur un lac) est toujours horizontal ?

La combustion a lieu en présence de l'air, et plus spécifiquement de l'oxygène.

### MATÉRIAUX

- Une bougie
- Un verre transparent
- Une assiette creuse avec de l'eau
- Trois pièces de monnaie



### PROCÉDURE

1. Colle la bougie avec sa propre cire au centre de l'assiette.
2. Verse de l'eau dans l'assiette, sur environ trois centimètres de haut.
3. Place les pièces de monnaie autour de la bougie.
4. Allume la bougie et place le verre à l'envers en équilibre sur les pièces de monnaie.

Vérifie que l'eau puisse entrer dans le verre.



### QUE SE PASSE-T-IL ?

La bougie s'éteint quelques secondes après avoir été couverte avec le verre.

Le niveau de l'eau monte à l'intérieur du verre.

## EXPLICATION

La bougie s'éteint dès que l'oxygène a été consommé. Lors de la combustion, la bougie consomme de l'oxygène et produit du dioxyde de carbone.

Une fois refroidi, l'air riche en dioxyde de carbone aura une pression plus basse que l'atmosphère, de sorte que l'eau pénètre dans le verre.

## DANS LA VIE QUOTIDIENNE

Si vous isolez quelque chose qui brûle, vous pouvez arrêter la combustion ; par exemple, il est recommandé de couvrir la source du feu avec une couverture en laine humide. Peut-être avez vous remarqué que certains guérisseurs mettent une bougie sur le dos du patient et couvrent avec un verre. La peau est ainsi « aspirée » quand la bougie s'éteint. Un phénomène physique très frappant !



## DANS LA NATURE

### Les vents, les courants océaniques

De nombreux facteurs influencent le mouvement des fluides (tels que l'air ou l'eau). Parmi ces facteurs, il y a les variations de température et de pression. Les fluides chauds ont tendance à monter et à déplacer les fluides froids, qui ont, donc, tendance à descendre. L'air se déplace depuis les zones de haute pression vers celles de plus basse pression, formant ainsi les vents et les courants océaniques.



## Expériences... sur la pression et la résistance des matériaux

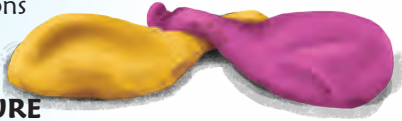
# 4. COMMENT FAIRE PASSER UNE AIGUILLE AU TRAVERS D'UN BALLON SANS LE FAIRE ECLATER !

### MATÉRIAUX



Une aiguille

Deux ballons



### PROCÉDURE

1. Gonfle les deux ballons.
2. Fais passer l'aiguille au milieu de l'un d'eux.
3. Maintenant, fais passer l'aiguille au sommet de l'autre ballon.



### QUE SE PASSE-T-IL ?

Si on introduit l'aiguille au milieu du ballon, il éclatera.



Si on introduit l'aiguille par l'une des extrémités, apparemment rien ne se passe. De plus près, on se rend compte que l'air s'échappe très doucement.

Si le ballon est trop gonflé, il éclatera même si tu le piques à une des extrémités. S'il est peu gonflé, il est possible qu'il n'éclate pas même si tu le piques au milieu.



## EXPLICATION

L'air que tu introduis avec la bouche fait que les parois du ballon s'étirent plus à certains endroits que d'autre. L'air à l'intérieur du ballon pousse dans toutes les directions. Plus il y a d'air dans le ballon, plus la pression interne est élevée. Lorsqu'on perce le ballon au milieu, le matériau est très étiré, près du point d'éclatement, tandis qu'aux extrémités il est encore très résistant, donc il n'éclatera pas.

## DANS LA VIE QUOTIDIENNE

Lorsqu'un matériau est étiré et revient à son état d'origine sans changer sa forme, on parle de déformation élastique, comme avec un élastique par exemple.

Les balles rebondissent parce que, au moment de percuter le sol, elles se déforment et quand elles reprennent leur forme initiale, ceci crée une force qui provoque un mouvement en sens contraire.

Lors d'un tremblement de terre, la surface de la Terre présente une déformation élastique. Le mouvement que l'on ressent se doit à un changement de forme momentanée due au passage des ondes sismiques.



## DANS LA NATURE

### Masse volumique de l'air

Dans l'atmosphère, la pression, la température et la densité sont inversement proportionnelles à l'altitude. A des altitudes plus élevées, il y a une pression et une densité plus basses.

Dans la croûte terrestre, la pression, la température et la densité de la terre sont directement proportionnelles à la profondeur. À une plus grande profondeur, la température, la pression et la densité seront donc plus élevées.

Avec cette expérience, il est possible de voir que la même quantité d'air remplit deux ballons de manière bien différente, selon le type de matériau qui les conforme. Les ballons peuvent être gonflés plus ou moins en fonction de la résistance du matériau. **L'air peut avoir une densité (masse / volume) plus élevée dans un ballon plus résistant**

À l'intérieur la pression d'air est égale dans toutes les directions et se trouve à une température constante.

### Loi de Boyle

"À une température constante, les volumes occupés par un gaz sont inversement proportionnels aux pressions auxquelles il est soumis."

## Expérience... sur la transmission de pression

# 5. COMMENT FAIRE PLONGER UN COMPTE-GOUTTES VIDE

T'es-tu déjà demandé quelquefois pourquoi les navires en acier flottent sur l'eau? As-tu déjà remarqué que tu flottes ou coules selon la quantité d'air que tu as dans tes poumons?



### MATÉRIAUX

Une bouteille transparente  
Un ballon  
Des ciseaux  
Un compte-gouttes, ou bien le cylindre plastique d'un stylo, ou bien une paille et de la pâte à modeler



### PROCÉDURE

1. Remplis la bouteille avec de l'eau, insère le compte-gouttes dans la bouteille et bouche la bouteille avec le ballon, de sorte qu'il soit très tendu pour créer une espèce de couvercle élastique (tu peux couper le bout du ballon pour qu'il couvre exactement la bouche de la bouteille).
2. Appuie sur le ballon vers le bas ... et regarde le compte-gouttes se remplir d'eau !
3. Mets dedans de l'eau jusqu'à la moitié, tu verras le compte-gouttes plonger encore plus dans l'eau.
4. Au lieu du compte-gouttes, tu peux utiliser le couvercle du stylo couvrant une pointe avec de la pâte à modeler.



### QUE SE PASSE-T-IL ?

Lorsque tu appuies sur le ballon vers le bas, l'air à l'intérieur de la bouteille pousse l'eau vers l'intérieur du compte-gouttes.

Si le compte-gouttes a de l'eau, il va peser plus que quand il a de l'air, donc il s'inclinera.

Lorsque l'eau pénètre dans le compte-gouttes, celui-ci va couler.

Si le compte-gouttes est en plastique, il ne coulera pas, puisque le poids total de la matière plastique et de l'eau reste inférieur à celui de l'eau qui occupe le même volume.



## EXPLICATION

Cette expérience utilise deux principes, celui de Pascal: "Les fluides transmettent les pressions avec la même intensité dans toutes les directions" et celui d'Archimède: «Tout corps plongé dans un fluide subit une poussée verticale et vers le haut égale au poids du fluide déplacé ».

Lorsque nous poussons le bouchon vers le bas, l'air à l'intérieur de la bouteille pousse l'eau dans le compte-gouttes. Lorsqu'on relâche le ballon, l'air se dilate et l'eau sort du compte-gouttes. Le compte goutte flotte car il contient de l'air, qui pèse presque mille fois moins que le même volume d'eau. Plus il y a d'air dans le compte-gouttes, plus il sera léger. Les objets légers flottent plus que ceux qui sont lourds.



## DANS LA VIE QUOTIDIENNE

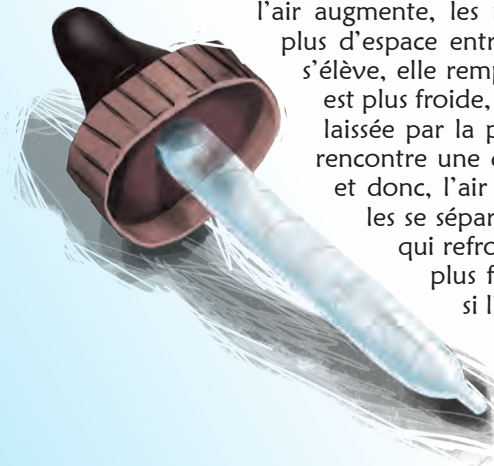
Les freins hydrauliques des voitures, le cric et la presse hydraulique sont des excellentes et importantes applications du principe de Pascal.

Selon le principe d'Archimède, les bateaux, qu'ils soient faits en acier ou en d'autres matériaux lourds, flottent parce que l'espace qu'ils occupent sur l'eau contient beaucoup d'air.

Les bouteilles de sauce ketchup, de crème et de shampooing sont faites en plastique mince et flexible qui, lorsqu'il est pressé, pousse le liquide vers l'extérieur.

## DANS LA NATURE

L'air chaud cherche à monter. Lorsque la température de l'air augmente, les molécules se séparent et il y a plus d'espace entre elles. Quand une masse d'air s'élève, elle remplace une autre masse qui si elle est plus froide, descendra pour prendre la place laissée par la première. Lorsque l'air monte, il rencontre une couche ayant moins de pression et donc, l'air se dilatera. Lorsque les molécules se séparent, elles dépensent de l'énergie qui refroidit le gaz. Voilà pourquoi il fait plus froid dans les montagnes, même si l'air chaud monte.



## Expériences...sur la résistance de l'air

# 6. FAIS-LES S'ENVOLER

Parfois, les objets lourds tombent plus rapidement que ceux qui sont légers. Pourquoi parfois?

### MATÉRIAUX

1 livre  
1 feuille de papier



### PROCÉDURE

1. Laisse tomber le livre et la feuille en même temps.
2. Puis place la feuille sur le livre et laisse-les tomber.



### QUE SE PASSE-T-IL ?

Remarque que le livre tombe beaucoup plus vite que la feuille.

Lorsque la feuille est sur le livre, ils tombent ensemble.

Rien ne peut échouer dans une expérience si simple !



## EXPLICATION

Dans le premier essai, le livre est plus lourd et donc il surmonte la résistance de l'air, alors que la feuille sera retenue par celle-ci. Dans le deuxième essai, le livre ouvre la voie pour le trajet de la feuille, et donc ils tombent ensemble.

## DANS LA VIE QUOTIDIENNE

Tu as regardé les oiseaux et les avions voler, et la poussière, les parachutistes ou les nuages être suspendus dans l'air. Ils peuvent le faire grâce au soutien de l'air. Bien que l'explication du vol des avions puisse être très compliquée, tu peux vérifier son fonctionnement lorsque tu sors la main par la fenêtre d'une voiture en mouvement (avec précaution). Essaie d'imiter la forme des ailes d'un avion avec ta main, dirige-la vers le haut, et le vent (air en mouvement) poussera ta main vers le haut.



## EN SAVOIR PLUS

### La loi de la gravité contre la résistance de l'air

Deux facteurs affectent la chute des corps. L'un d'eux, le plus important, c'est la gravité. L'autre, la résistance de l'air qui dépend de:

- \* La vitesse (plus un objet se déplace vite, plus il y aura de résistance).
- \* La forme de l'objet (plus grand est l'objet, plus il empêche le passage de l'air qui se déplace, ce qui augmente la résistance).
- \* Le contraste de densité entre l'air et l'objet (si celui-ci est très léger, il sera suspendu dans l'air).

## Expérience... à la manière de Galileo Galilei

# 7. ON DESCEND !

Quand le module Apollo 15 arrive sur la lune, un astronaute fait l'expérience de jeter une plume et un marteau et il observe qu'ils tombent à la même vitesse. Essaie ici sur la Terre et observe comment deux objets aux poids différents peuvent tomber à la même vitesse.

### MATÉRIAUX

2 bouteilles en plastique  
Du sable, des haricots ou tout autre matériau qui augmente le poids de la bouteille



### PROCÉDURE

1. Remplis une des bouteilles avec du sable ou tout autre matériau et laisse l'autre vide.
2. Laisse tomber les deux bouteilles en même temps depuis un deuxième étage.



Vérifie que la surface de réception soit souple (une boîte, par exemple) pour éviter que les bouteilles ne s'écrasent et que tu puisses les réutiliser plusieurs fois avec des poids différents.

## QUE SE PASSE-T-IL ?

Les deux bouteilles tombent en même temps, même si elles ont des poids différents.



L'expérience peut échouer si l'une des bouteilles est trop souple ou bien si sa surface est plate ; la résistance de l'air peut ralentir sa chute.

## CETTE EXPÉRIENCE DANS L'HISTOIRE

Jusqu'au XVIème siècle, on croyait que les objets les plus lourds tombaient plus vite que ceux plus légers, ainsi qu'Aristote l'avait dit 19 siècles plus tôt. Comme professeur de mathématiques à l'Université de Pise, Galileo Galilei a remis en question les croyances de son époque. Il a jeté deux objets de poids différents de la tour de Pise et il a montré qu'ils tombaient à la même vitesse. Cette expérience a été choisie par un groupe de physiciens comme la deuxième plus belle expérience de l'histoire, car un exercice très simple a démontré que la nature a le dernier mot sur des questions de science.



## 8. LEQUEL TOMBE LE PREMIER ?

As-tu remarqué qu'il semble y avoir une force d'attraction cachée à l'intérieur de la Terre, qui fait que tout tend à « coller » au sol? Même si tu sautes très haut, tu reviens toujours sur la Terre. Cette force s'appelle la gravité.

### MATÉRIAUX



2 billes, des citrons ou des balles de même taille

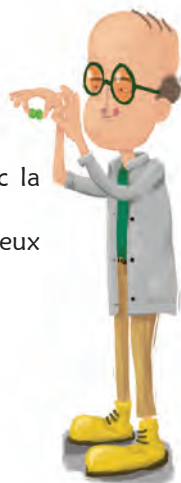
Les deux objets doivent avoir la même forme et le même poids

### PROCÉDURE

1. Tenir les deux objets entre le pouce et l'index, avec la paume vers le bas.
2. Avec l'autre main donner un coup fort à l'un d'entre eux de manière horizontale, pour le lancer ver l'avant.

### QUE SE PASSE-T-IL ?

Lorsque tu sépares les deux sphères, l'une d'elles tombe verticalement et l'autre part en avant. Les deux sphères vont tomber en même temps, bien que l'une d'elles parcourt une plus longue distance.



Cette expérience échouera si l'une des sphères ne part pas à l'horizontale.

### EXPLICATION

Il y a deux forces qui contrôlent le temps de chute des corps, celle de la gravité et celle de la résistance de l'air. Si les deux objets sont égaux en poids et en forme et que la résistance de l'air est négligeable, alors seule la force de gravité influence le temps nécessaire pour atteindre le sol, même si l'un d'eux se déplace horizontalement pendant un certain temps.



### DANS LA VIE QUOTIDIENNE

La gravité est une force très importante dans la vie quotidienne. C'est elle qui nous tient tous « collés » au sol. Elle est représentée par une ligne verticale perpendiculaire à la surface de la Terre, sur ce petit espace où tu te tiens debout. Donc, peu importe que tu sois dans l'hémisphère nord ou sud, aux pôles ou à l'Équateur, le ciel est toujours au-dessus quand tu es debout.



### EN SAVOIR PLUS

#### La loi de la gravité

La gravité est la force d'attraction entre des objets. La force d'attraction entre deux objets à masse  $M_1$  et  $M_2$  est directement proportionnelle au produit de la masse de chacun, et inversement proportionnelle au carré de la distance ( $R$ ) entre eux.

La force de gravité, que nous appelons « poids » gère notre vie quotidienne car c'est elle qui nous maintient sur la Terre. Observe que la masse de la planète est beaucoup plus grande que celle de tout autre objet autour de nous, et la distance entre le centre de la Terre et un objet humain est pratiquement constante. Ainsi, la gravité est la plus élevée à la surface. Bien sûr, elle diminue quand l'objet s'éloigne de la Terre parce que la distance entre les masses concernées augmente. Cependant, elle diminue également si l'objet pénètre à l'intérieur de la Terre, étant donné qu'une partie croissante de la planète est « au-dessus », et la masse qui est « en dessous » devient de plus en plus petite.

Au centre de la Terre, il y a une énorme pression liée à la masse de l'ensemble de la planète, mais la gravité y est nulle, comme dans l'espace.



## Expérience... avec un plan incliné

# 9. SUR LE TOBOGGAN

As-tu remarqué que lorsque tu descends un toboggan, plus il est incliné, plus vite tu descends ?

### MATÉRIAUX

2 tubes en PVC de 2 m de long

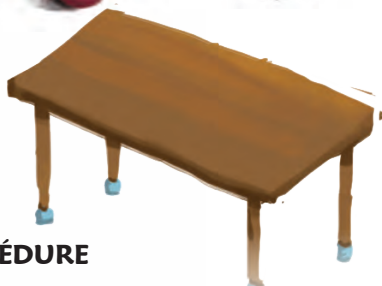
5 billes

1 règle

1 feutre

1 table

2 livres ou des cubes en bois de même épaisseur



### PROCÉDURE

1. Place deux livres (ou des briques) sous les pieds d'une table pour l'incliner.
2. Place sur la table les deux tubes collés ensemble avec du ruban adhésif.
3. Fais des marques sur l'un des tubes tous les 30 cm.
4. Place une bille au sommet des tubes et lance-la. Vérifie qu'elle roule vers le sol.
5. Chronomètre ce mouvement (du début jusqu'à chaque marque) et note les temps sur la table de la page suivante.



Répète cette procédure plusieurs fois.

### QUE SE PASSE-T-IL ?

Au fur et à mesure que la bille roule vers le bas, le temps qu'elle prend pour passer d'une marque à l'autre est moindre, c'est-à-dire que la bille roule de plus en plus vite. Ce changement de vitesse est nommé accélération.





## Expérience du plan incliné

	TEMPS 1	TEMPS 2	TEMPS 3	TEMPS 4	TEMPS 5	Différence de temps entre distances consécutives
30 cm						
60 cm						
90 cm						
120 cm						
150 cm						
180 cm						
210 cm						

### CETTE EXPÉRIENCE DANS L'HISTOIRE

Galilée essayait de comprendre le comportement des corps quand ils tombent, et pourquoi ils le faisaient très vite, à peu près dix mètres par seconde. Donc, il a conçu une expérience où il ferait rouler l'objet sur un plan incliné. Moins il serait incliné, plus l'objet prendrait du temps à descendre, ce qui lui permettrait de prendre des mesures de temps avec plus de précision.

Avec cette expérience Galilée a découvert que la vitesse de chute changeait en fonction du temps et que l'accélération n'a rien à voir avec le poids de l'objet qui tombe (voir l'expérience " On descend! ", plus haut). Comme il était très intelligent, il a mis ces résultats en langage mathématique : la distance parcourue par un corps en chute est proportionnelle au temps écoulé au carré.

Grâce à Newton, on sait maintenant que la valeur de l'accélération en chute libre sur la Terre, en l'absence de l'air, a une valeur d'environ  $9,8 \text{ m} / \text{s}^2$ , ce qui est connu comme "l'accélération de la gravité".



## ANNEXE

### Cette explication est pour les adultes ou les enfants très intelligents !

À la fin de ce livre, nous allons prouver théoriquement que la vitesse de chute est indépendante du poids de l'objet. Nous allons travailler avec trois concepts : l'accélération de la gravité, la loi de la gravité universelle et la deuxième loi de Newton.

A)

Galilée a montré que la distance parcourue par un objet qui tombe est proportionnelle au carré du temps ; par exemple, il parcourra quatre fois plus de distance en deux fois plus de temps. Cette accélération lors de la chute est due à la gravité.

B)

Soixante-dix ans après le spectacle de Galilée à la tour de Pise, Newton a proposé les lois de la gravité universelle. Il a établi que la force d'attraction entre deux corps est donnée par l'équation

$$F = GM_1M_2 / R^2 \dots\dots (1)$$

où G est la constante de gravitation universelle (la même dans tout l'univers) et F la force d'attraction entre deux corps  $M_1$  et  $M_2$  séparés par une distance R. Dans le cas de la Terre et d'un être humain, il s'agit de la distance entre le centre de la Terre et le centre de gravité du corps, localisé plus ou moins à la hauteur du nombril.

C)

En outre, Newton a formulé sa deuxième loi du mouvement, où il établit que l'accélération d'un objet est directement proportionnelle à la force nette agissant sur lui et inversement proportionnelle à sa masse, à savoir

$$a = F/M_2 \dots\dots \text{ou} \dots F = M_2a \dots (2)$$

Lorsque la vitesse initiale est nulle, on peut obtenir la vitesse finale en multipliant l'accélération par le temps

$$v = at \dots (3).$$

Si l'on considère que F est la force d'attraction de la Terre sur l'individu, donc dans l'équation (2), a est l'accélération de la gravité et (3) v est la vitesse de chute. Puisque F est la même dans les équations (1) et (2), on peut donc écrire

$$GM_1M_2 / R^2 = M_2a \dots (4).$$

Dans les deux membres de l'équation (4) le terme  $M_2$  est éliminé. Si on substitue (3) et qu'on isole la vitesse, on peut montrer que dans l'équation qui détermine la vitesse de chute (v), la masse de l'individu n'intervient pas :

$$v = at = TGM_1 / R^2.$$

## REMERCIEMENTS

L'idée de faire un livret d'expériences scientifiques est venue après la lecture du livre de Manuel Lozano "De Archimède à Einstein," dans lequel l'auteur propose une manière de mettre en pratique à la maison les dix plus belles expériences dans l'histoire. Nous voulions faire de cette idée une série de livrets.

Les expériences présentées dans ce livret sont réunies pour expliquer l'importance des expériences "La chute des corps" et "Le plan incliné", de Galilée, pour expliquer le concept de gravité, mettant en évidence tous les principes physiques qui ont à voir avec lui et comment ils sont appliqués dans la nature.

Nous remercions Yuria et Emilia Cruz pour leurs contributions à l'idée originale de ce livret, et Paula Lopez pour ses illustrations. Susana Orozco, Gerardo Carmona et Rosalba Fuentes ont révisé nos commentaires et jugé de leur pertinence. La correction de style a été réalisée par Thierry Calmus.

La préparation et l'impression de cette brochure a été financée par le PAPIME PE400216 «Langues étrangères dans la diffusion de la science» et CONACYT-SEB 264549 «Chaîne par Science: Enseignement Concepts Master of Sciences de la Terre.

## À PROPOS DES AUTEURS

### **Susana A. Alaniz Álvarez**

Chercheuse au Centre de Géosciences de l'Université Nationale Autonome du Mexique (UNAM). Elle a obtenu le Doctorat ès Sciences de la Terre en 1996. Membre de l'Académie des Sciences mexicaine et membre de l'Académie de l'Ingénieur. Elle est auteure de plus de 45 articles scientifiques sur la déformation de la couche supérieure de la Terre et sa relation avec le volcanisme, ainsi que de plusieurs livres de divulgation. Elle fait partie du Système National de la Recherche (SNI). Elle est professeur du Master et du Doctorat en Sciences de la Terre de la UNAM et fut rédactrice en chef de la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. En 2004, elle a reçu le prix Sor Juana Inés de la Cruz de la UNAM.

### **Angel Nieto Samaniego**

Il est titulaire d'un doctorat en Géophysique de l'Université Nationale Autonome du Mexique, professeur diplômé, et membre l'Académie des Sciences mexicaine ainsi que du Système National de Recherche (SNI). Il a été président de la Société Géologique Mexicaine, rédacteur en chef du livre célébrant le centenaire de cette société ; il appartient aux comités de rédaction de plusieurs revues nationales et internationales. Il a publié 67 articles sur la théorie des failles et de la déformation cénozoïque du Mexique. Actuellement, il est chercheur au Centre de Géosciences de l'Université Nationale Autonome du Mexique à Juriquilla, dans l'état de Querétaro.

Cette brochure est dédiée à l'expérience "Les corps qui tombent dans le vide" de Galilée et fait partie des projets DGAPA-UNAM (PE400216, PE104916) et CONACYT (SEP\_SEB 264549), en tant que propositions didactiques transdisciplinaires pour l'enseignement des sciences en français.





Préparé pour la Escuela Nacional Preparatoria UNAM



La série «Des expériences simples pour comprendre une planète compliquée» est inspirée des plus belles expériences de l'histoire, publiées par le magazine *Physics World* en septembre 2002. Elles ont été choisies pour leur simplicité, leur élégance et l'influence transformatrice qu'elles ont exercé sur la pensée scientifique de leur temps. Chaque livret de cette série est consacré à l'une de ces expériences. Notre but est de faire comprendre, par l'expérimentation, les phénomènes se produisant dans notre vie quotidienne et dans notre planète.

Cette brochure est dédiée à l'expérience "Les corps qui tombent dans le vide" de Galilée.

Livrets de cette série

1. La pression atmosphérique et la chute des corps

Téléchargez la série intégrale sur le site:  
<http://www.geociencias.unam.mx>