

## Accéléromètres à ressort

Traduit par Mathilde Rojinsky

L'accéléromètre à ressort est un tube de plexiglas transparent contenant une petite masse solide reliée à deux ressorts identiques, chacun à une extrémité du tube, qui permettent de mesurer les forces s'exerçant sur ce solide. Suivant la formule  $F(\text{orce}) / m(\text{asse}) = a(\text{ccélération})$ , pour une masse constante, vous pouvez diviser la force par la masse pour obtenir facilement une idée de l'accélération instantanée à laquelle vous êtes soumis.

Cet instrument s'achète dans le commerce<sup>w1</sup>, mais vous pouvez aussi le fabriquer vous-même (voir Unterman, 2001, page 54). Procurez-vous un tube de plexiglas d'environ 1 à 1,5 cm de diamètre et de 30 à 40 cm de long (selon la taille des ressorts). Reliez une petite masse solide (plomb ou cuivre, 10 g environ), équipée d'un anneau à chaque extrémité, à deux ressorts de taille égale. Si vous suspendez le solide aux ressorts verticalement, la constante élastique devrait leur permettre de s'allonger de 1 à 2 cm. Au moyen d'un petit crochet équipé d'un anneau, attachez l'autre extrémité de chaque ressort à un bouchon de plastique ou de caoutchouc. Passez une bande élastique dans l'un des bouchons pour pouvoir porter l'accéléromètre à votre poignet.



*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Giovanni Pezzi*

Pour calibrer votre instrument, vous pouvez utiliser l'unité de mesure  $g$  qui correspond à la gravité de la Terre. Maintenez le tube à l'horizontale : le solide se retrouve en équilibre au centre. Nous appellerons cette position  $0g$  (voir l'anneau rouge dessiné autour du solide blanc sur l'image ci-dessus).

À présent, placez le tube à la verticale : la position du solide correspond alors à l'équilibre entre la force de gravité qui s'exerce sur la masse, et la force du ressort supérieur, égale au poids de la masse. Donc, en équilibre,  $F/m = 9,8 \text{ m/s}^2$  ou  $1g$ . Ici aussi, marquez la position d'un anneau rouge. Retournez le tube, et marquez la nouvelle position du solide, symétrique à la précédente :  $-1g$ .

Mesurez la distance entre  $0g$  et  $+1g$  ou  $-1g$ , que vous reporterez autant de fois que possible le long du tube, aux positions  $+2g$ ,  $-2g$ ,  $+3g$ ,  $-3g$ , etc.

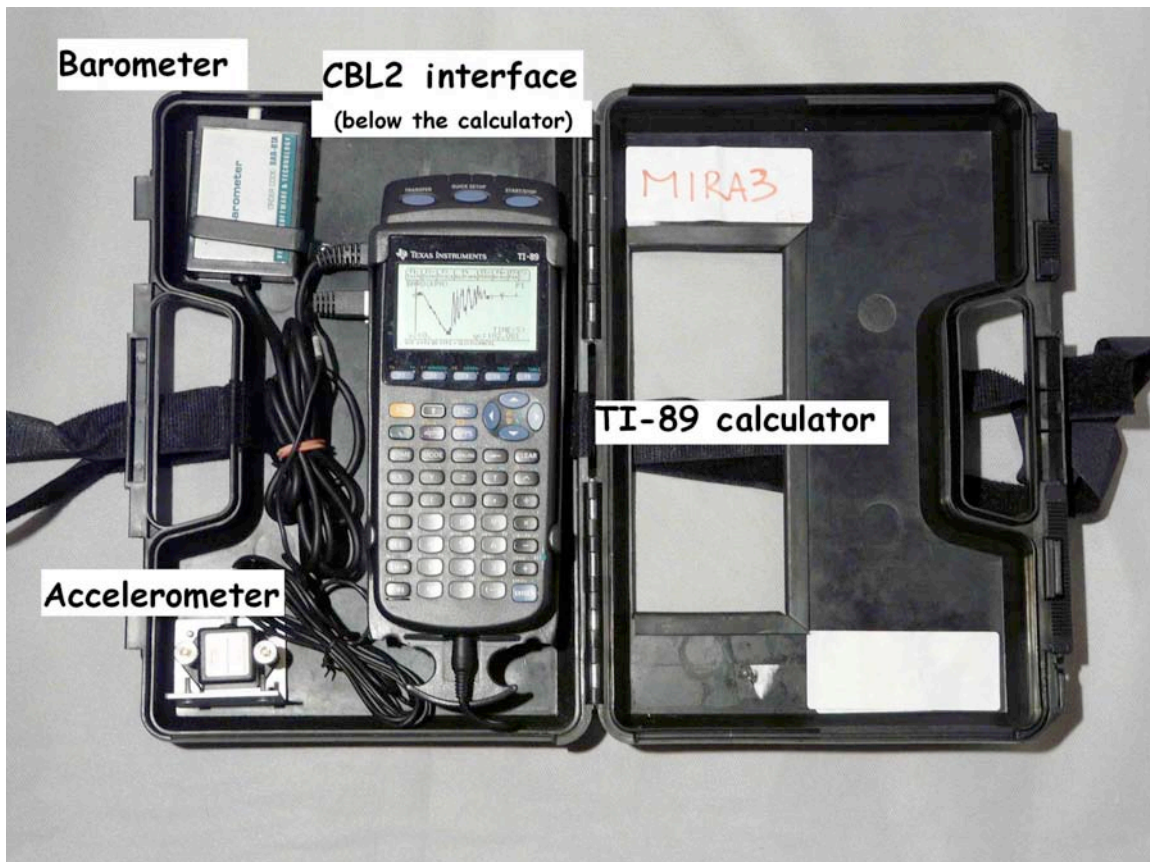
Cet instrument peut vous servir à mesurer l'accélération dans trois directions : si vous le tenez à l'horizontale, perpendiculaire à la direction du mouvement, vous obtiendrez l'accélération centrifuge dans les virages ; si vous le tenez à l'horizontale, mais parallèle cette fois à la direction du mouvement, vous obtiendrez l'accélération longitudinale ; enfin si vous le tenez à la verticale, vous obtiendrez l'accélération verticale en pente ou sur une trajectoire parabolique, en situation d'apesanteur.

## Instruments portables

Les instruments portables<sup>w1</sup> sont essentiels à la collecte de données en temps réel ; ils permettent aux élèves de mesurer la pression atmosphérique et l'accélération ressenties sur le circuit.

Nous avons fabriqué une boîte contenant un kit de collecte de données. Elle contient un système Calculator-Based Laboratory™ (CBL2, par Texas Instruments<sup>w2</sup>), appareil de collecte de données portable à piles, que nous avons relié à un baromètre et à un accéléromètre de basse g pour les mesures (par Venier<sup>w1</sup>, l'un comme l'autre), ainsi qu'à une calculatrice graphique TI (TI83, TI84 ou TI89, par Texas Instruments<sup>w2</sup>) pour l'analyse.

De l'orientation de l'accéléromètre dépendra la direction du mouvement dont on mesure l'accélération : cette direction est indiquée par une flèche, affichée sur le couvercle. Pour la modifier, il suffit de retourner l'accéléromètre dans sa boîte, sans avoir à faire tourner la calculatrice.



*Notre kit de collecte de données*

*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Giovanni Pezzi*

Nos instruments sont placés dans une boîte qui contenait à l'origine la première version du CBL, le CBL1. Nous avons découpé dans son couvercle une ouverture rectangulaire qui doit nous permettre de voir et d'utiliser la calculatrice même lorsque la boîte est fermée (voir l'image ci-dessous).



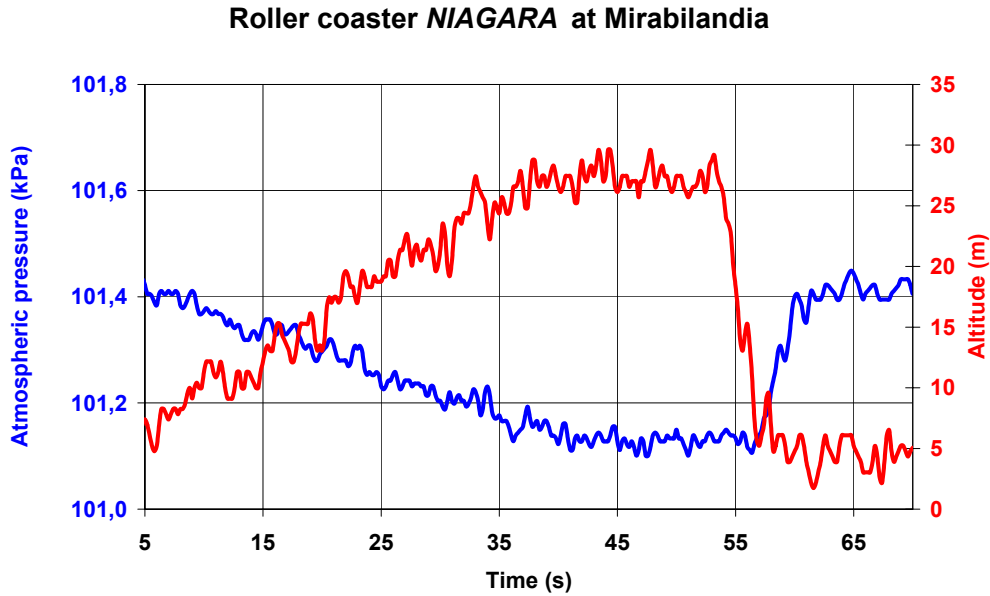
*Nos kits de collecte de données, à bord de deux types de montagnes russes différents, l'un attaché au moyen de bandes velcro (à gauche), l'autre grâce à des tendeurs élastiques (à droite)*

*Images courtesy of Mirabilandia (à gauche) et Giovanni Pezzi (à droite)*

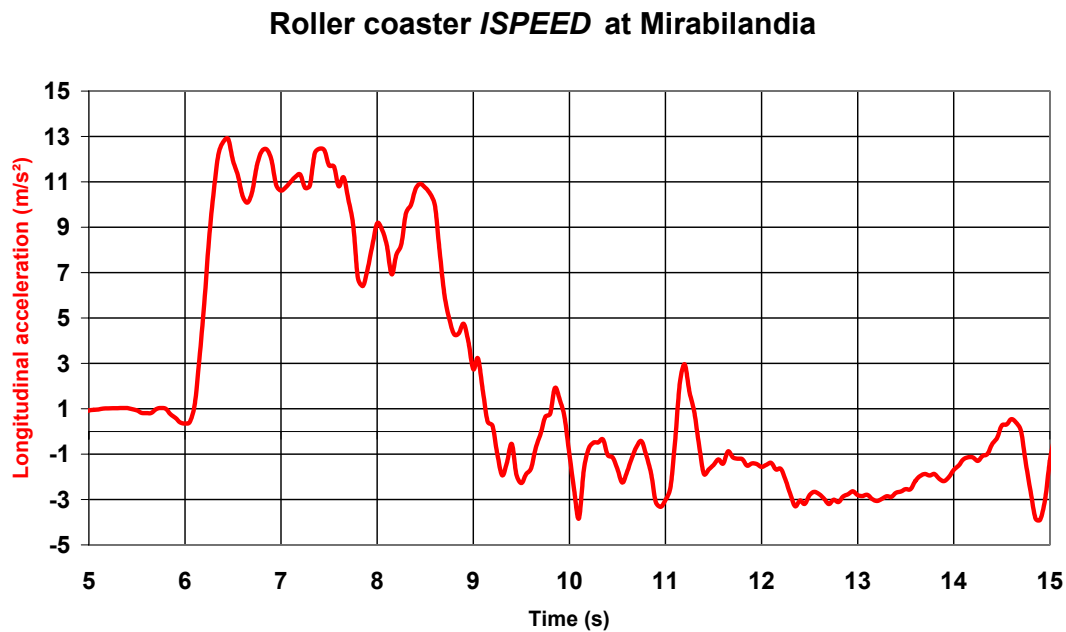
À la fin du circuit, vous pourrez observer et analyser les courbes correspondant aux valeurs enregistrées. Celles-ci vous permettront de faire le lien entre ce que vous aurez ressenti physiquement et les mesures recueillies. De plus, en les observant, vous comprendrez mieux la structure et le fonctionnement des montagnes russes.

Le baromètre permet d'obtenir une courbe représentant les évolutions de la pression sur la durée ; inversée, elle peut se lire comme la courbe des variations d'altitude sur la durée : chaque variation de pression de 0,1 kilo pascal (kPa) correspond à une variation d'altitude d'environ 8 m. Vous trouverez des explications plus précises sur le rapport entre pression et altitude sur le site web du département de chimie atmosphérique de l'Institut Max Planck de Mainz, en Allemagne<sup>w3</sup> (site en anglais et en allemand uniquement).

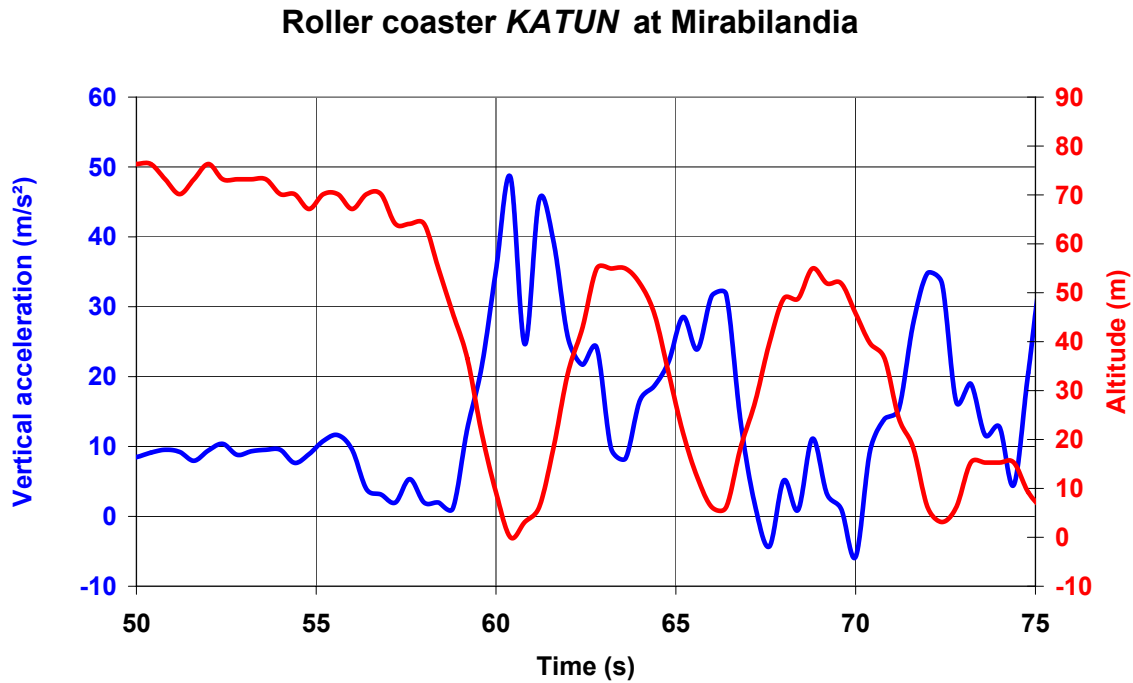
Nous recommandons aux élèves d'observer les courbes d'accélération pour identifier les points du circuit où s'exercent les plus grandes forces et de se rappeler ce qu'ils ont ressenti physiquement.



*Pression atmosphérique (en bleu) et altitude (en rouge) sur la durée à bord des montagnes russes Niagara, au parc Mirabilandia  
Image reproduite avec l'aimable autorisation de Mirabilandia*



*Accélération longitudinale sur la durée à bord des montagnes russes Ispeed, au parc Mirabilandia*



*Accélération verticale (en bleu) et altitude (en rouge) sur la durée à bord des montagnes russes Katun, au parc Mirabilandia*

*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Mirabilandia*

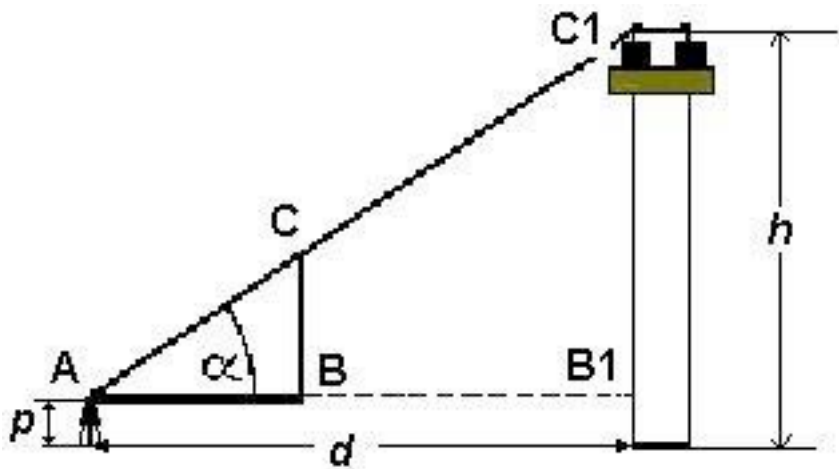
Les élèves pousseront ensuite plus loin l'analyse pour distinguer les différents tronçons des montagnes russes (descentes, boucles), et faire le lien avec les sensations qu'ils y ont éprouvées (sensation de légèreté ou de pesanteur).

## **Mesurer la hauteur d'une tour de chute libre ou d'une grande roue**

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la hauteur d'une tour :

a) Placez-vous à une distance déterminée à l'avance du pied de la tour ou de la grande roue, et tenez l'instrument à une hauteur déterminée aussi. Utilisez un sextant ou un rapporteur pour mesurer l'angle entre le haut de la tour et le sol. Grâce à la trigonométrie, vous pourrez calculer la hauteur de la tour suivant la formule  $h = d * \tan \alpha + p$ , avec  $h$  pour la hauteur de la tour ;  $d$  pour la distance qui sépare l'observateur du pied de la tour ;  $\tan$  pour la tangente ;  $\alpha$  pour l'angle mesuré ;  $p$  pour la hauteur à laquelle vous tenez l'instrument.





*On peut mesurer la hauteur d'une tour de chute libre avec un rapporteur  
 Images courtesy of Giovanni Pezzi (en haut) et Mirabilandia / Alessandro Foschi (en bas)*

b) Le résultat de cette expérience peut aussi être obtenu par des calculs géométriques. Les angles des triangles  $AB_1C_1$  et  $ABC$  (voir ci-dessus) étant égaux, on en déduit la longueur proportionnelle de leurs côtés, soit :  $C_1B_1 = (AB_1 \times CB) \div AB$ . Si l'on mesure la longueur des côtés  $AB$  et  $CB$ , on peut appliquer la formule  $h = C_1B_1 + p$ , avec  $h$  pour la hauteur de la tour, et  $p$  pour la hauteur à laquelle vous tenez l'instrument.

## L'expérience du pendule de Foucault sur un carrousel

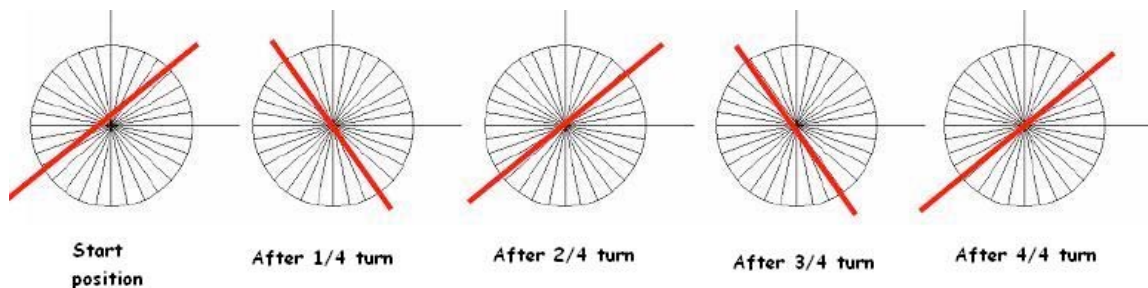
La première fois que Foucault a réalisé son expérience, c'était à Paris en 1851. Il voulait démontrer que la Terre tourne : le plan d'oscillation du pendule semble tourner, et effectuer un tour complet en 30 heures. Mais en fait, c'est la Terre qui tourne sous le pendule. Si l'on pouvait observer son mouvement dans un autre cadre de référence, loin de la Terre, on verrait que le plan d'oscillation du pendule ne tourne pas.

Sur un carrousel, non seulement vous pouvez reproduire cette expérience en 30 secondes (le temps que met le carrousel de Mirabilandia à effectuer une rotation), mais vous pouvez en plus la vérifier en quittant le cadre de référence, à savoir le carrousel.



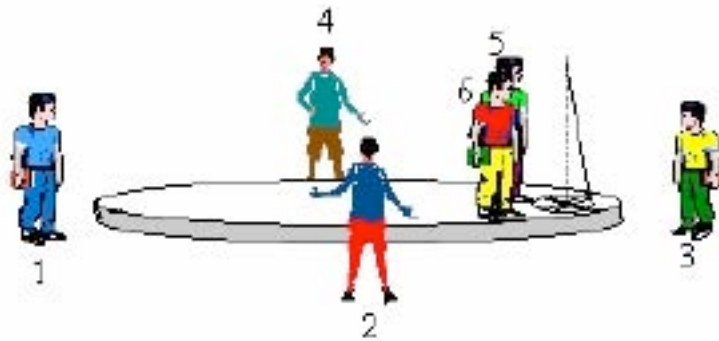
*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Giovanni Pezzi*

Posez un pendule sur un carrousel en pleine rotation, son plan d'oscillation aura l'air de tourner. Un élève à bord du carrousel, tout près du pendule, observera ce mouvement ; à chaque quart de tour, il ou elle devra noter la direction du plan d'oscillation du pendule. Au bout d'un tour complet, son croquis devrait être semblable à celui-ci :



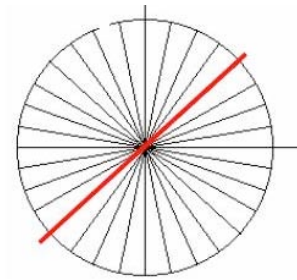
*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Mirabilandia / Alessandro Foschi*

Pendant ce temps, quatre autres élèves (1-4) sont placés autour du carrousel, tous les  $90^\circ$  :



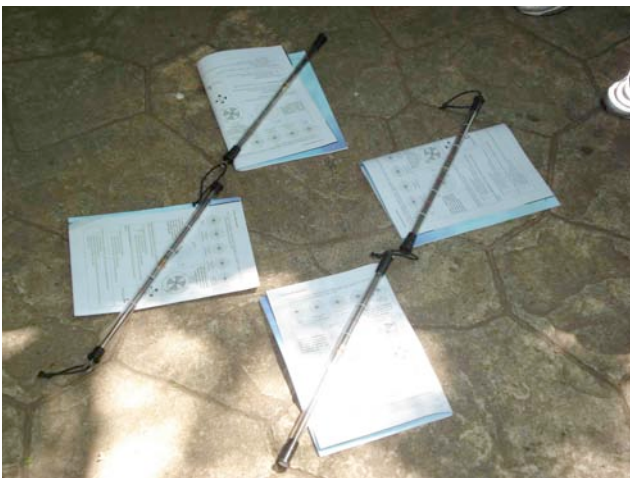
*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Mirabilandia / Alessandro Foschi*

Au passage du pendule, chacun d'entre eux devra observer la direction précise du plan d'oscillation, et la noter (une seule fois). Le croquis obtenu devrait être semblable à celui-ci :



*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Mirabilandia / Alessandro Foschi*

Quand le carrousel s'immobilise, les quatre élèves placés autour s'installent à une table sur laquelle ils disposent leurs croquis à des angles de  $90^\circ$ , correspondant à leur propre positionnement autour du carrousel :



*Les cahiers indiquent la direction dans laquelle chacun des élèves était tourné ; les accéléromètres (bâtons) représentent les mouvements du plan d'oscillation du pendule*  
*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Giovanni Pezzi*



Vous pouvez constater que la direction du plan d'oscillation n'a jamais variée au cours de la rotation du carrousel.

Pour l'observateur assis à bord du carrousel, le plan d'oscillation du pendule semble tourner, tout comme pour l'observateur de l'expérience originale de Foucault au Panthéon à Paris, qui se trouve « à bord » de la Terre en rotation. Observer le mouvement du pendule en se tenant hors du carrousel revient à observer l'expérience de Foucault depuis un point hors de la Terre.

### **Démontrer l'effet de la force de Coriolis sur le carrousel**

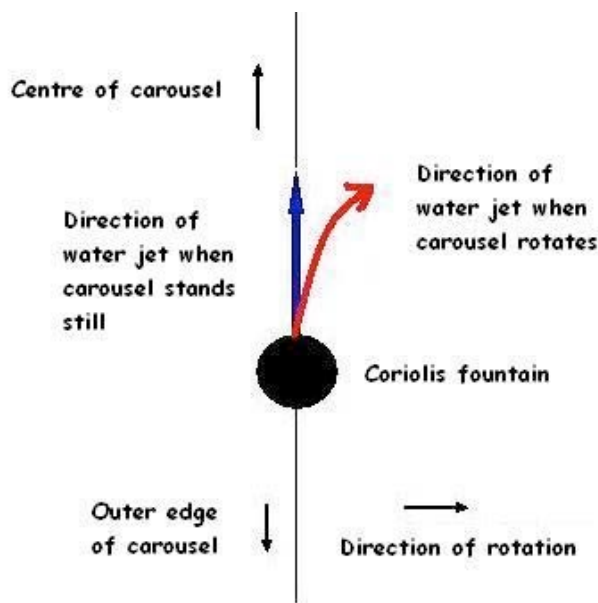
Pour démontrer la force de Coriolis, vous devrez fabriquer une petite fontaine : montez un cylindre transparent sur une boîte en bois au fond de laquelle vous aurez fixé un robinet, et remplissez votre cylindre d'eau.



*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Giovanni Pezzi*

Sur le carrousel, posez la fontaine sur un escabeau, et placez devant elle une bassine dans laquelle vous aurez tracé une ligne droite. Faites en sorte que le jet d'eau soit tourné vers l'extérieur du carrousel, soit radialement. Quand vous ouvrirez le robinet, il faut que l'eau tombe sur la ligne droite au fond de la bassine.

Tant que le carrousel est à l'arrêt, la direction du jet d'eau suit un rayon de la plate-forme du carrousel. Quand il se met en branle, l'eau se met à couler de côté :



*Image reproduite avec l'aimable autorisation de Mirabilandia / Alessandro Foschi*

Une série d'expériences similaires à celles-ci a été présentée au festival La science en scène 2005 sur une plate-forme rotative plus petite<sup>w4</sup>.

## Références internet

w1 – Les entreprises américaines Vernier et Pasco proposent des instruments de mesure spécialisés à utiliser dans les parcs d'attraction et vendus avec toute une série de consignes et d'activités. Rendez-vous sur :

[www.vernier.com/cmat/datapark.html](http://www.vernier.com/cmat/datapark.html)

[www.pasco.com/physhigh/amusement-park-physics](http://www.pasco.com/physhigh/amusement-park-physics)

w2 – Texas Instruments propose des calculatrices et des interfaces compatibles avec les instruments de mesure utilisés sur les montagnes russes et les tours de chute libre. Visitez leur page française :

[http://education.ti.com/educationportal/sites/US/productDetail/us\\_cbl\\_2.html](http://education.ti.com/educationportal/sites/US/productDetail/us_cbl_2.html)

w3 – Pour plus d'informations sur le rapport entre pression atmosphérique et altitude, visitez le site web du département de chimie atmosphérique de l'Institut Max Planck de Mainz, en Allemagne (en anglais et en allemand uniquement) :

<http://tinyurl.com/pressure-altitude>

w4 – Si les expériences réalisées sur une petite plate-forme rotative vous intéressent, vous trouverez plus d'informations et même une vidéo (en italien) sur :

[www.rcs.mi.cnr.it/scuola2.html](http://www.rcs.mi.cnr.it/scuola2.html)

## Bibliographie

Unterman NA (2001) *Amusement Park Physics: A Teacher's Guide*. Portland, ME, USA: J Weston Walch. ISBN: 9780825142642