

L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à *Pour la Science*

ENTRER DANS LA LUMIÈRE

Platonium, œuvre en trois volets conçue pour l'année internationale de la lumière, rend hommage aux travaux scientifiques où la lumière est essentielle, qu'elle soit outil ou objet d'étude.

Lorsque l'Unesco décréta que 2015 serait l'Année internationale de la lumière et des technologies fondées sur la lumière, le CNRS a souhaité un événement à la hauteur mettant en valeur la recherche en la matière. Elle en confia la conception à l'artiste Éric Michel, qui se définit lui-même comme « passeur de lumière ». Avec Akari Lisa Ishii, de l'agence Icon, ils se sont rapprochés des laboratoires de la région lyonnaise afin de fêter dignement, et scientifiquement, la lumière. C'est ainsi que l'université de

Lyon, avec en particulier l'université Claude-Bernard, ainsi que les laboratoires de recherche ILM, Ircelyon et Cral, ont été embarqués dans l'aventure *Platonium*.

Présentée pour la première fois à la fête des Lumières de Lyon en 2016, l'œuvre a ensuite beaucoup voyagé : Bright Brussels Festival en février 2017, Fiesta de la Luz, à Quito, en Équateur, en août 2017... et dernièrement, à la Cité des sciences et de l'industrie, à Paris, en octobre 2018, à l'occasion de la 17^e édition de la Nuit blanche.

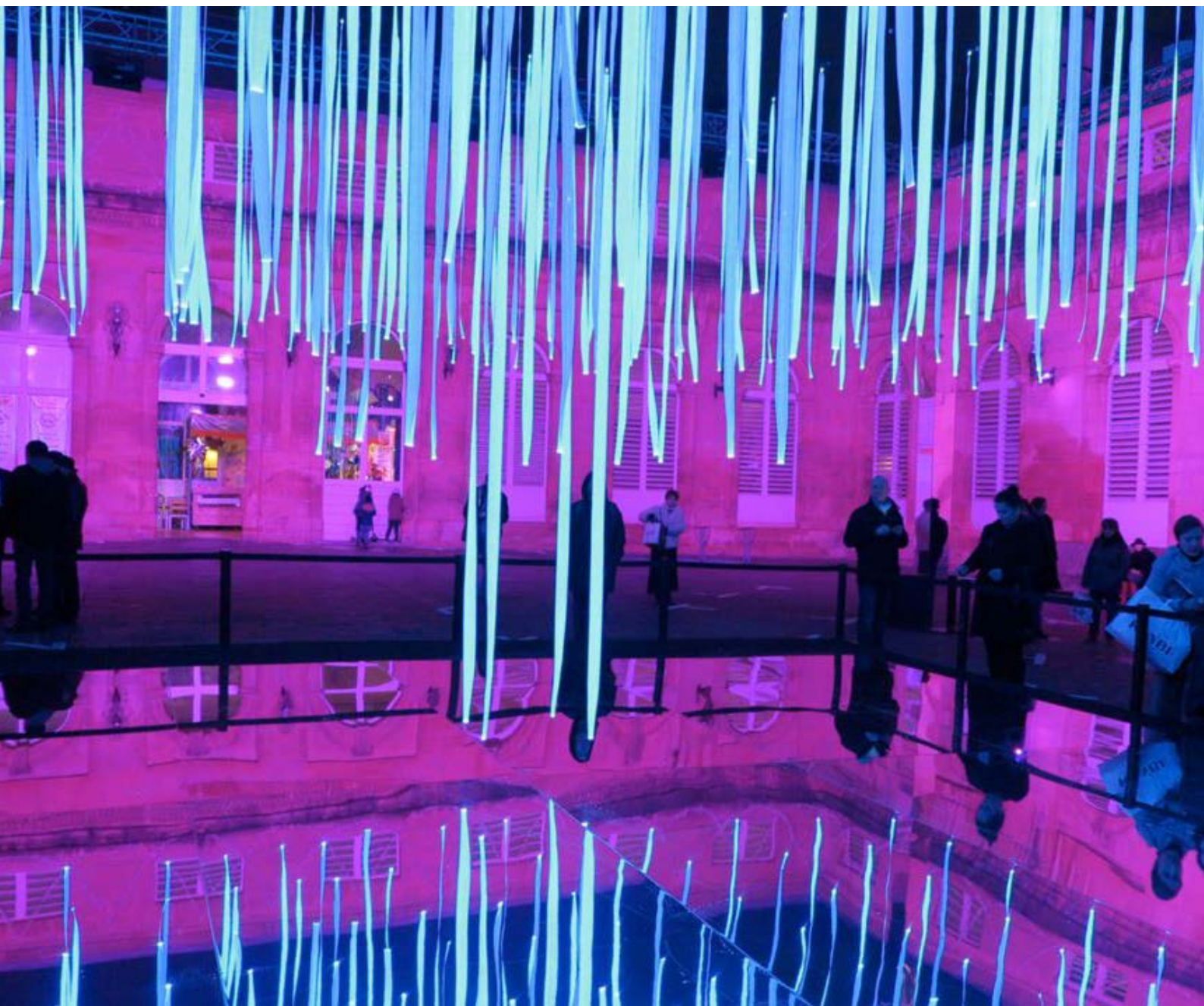
Platonium se décompose en trois volets. Le premier est l'*Atrium*, qui propose une déambulation, dans une quasi-obscurité, au milieu de seize écrans diffusant des images issues de laboratoires, sélectionnées tant pour leur qualité esthétique et hypnotique que pour les recherches qu'elles évoquent. Pêle-mêle, on peut voir des cristaux excités par une lumière prendre une coloration ou une luminescence particulière, des

Le *Vortex*, un des volets de *Platonium*, est fait de lamelles de tissus mêlant fibres optiques et fibres classiques.

nanoparticules d'or fabriquées par ablation laser, l'évolution d'une faille tectonique reproduite en laboratoire, la galaxie NGC 4650A vue du *Very Large Telescope*, au Chili... Cet *Atrium* est un clin d'œil à *Zapping Zone*, une installation du réalisateur Chris Marker conçue pour l'exposition « Passages de l'image », au Centre Pompidou en 1990. Ici, le zapping est réinterprété avec des images scientifiques.

Puis vient le *Vortex* (voir la photo ci-dessus), où 324 lamelles lumineuses bleues flottent, suspendues, et se reflètent dans un miroir au sol. L'ensemble est baigné d'une lumière magenta. Ces deux couleurs, le bleu et le magenta, sont les





signatures d'Éric Michel. Les lamelles sont en fait des fibres optiques tissées avec des fibres synthétiques selon un procédé mis au point par la société lyonnaise Brochier Technologies et appliqué à la soie.

Ces tissus lumineux sont notamment utilisés en milieu hospitalier pour soigner la jaunisse du nourrisson: on en confectionne des gigoteuses qui illuminent doucement et uniformément le bébé. Dans le secteur de l'automobile, ils sont à la base de divers dispositifs rétroéclairants.

Enfin, troisième volet, la *Stèle* consiste en un *ready made*, faite des mêmes tissus lumineux que le *Vortex*. Il s'agit pourtant là d'un système de

dépollution! Sur quel principe? Les bandelettes sont enduites d'un photocatalyseur qui, sous l'effet de la lumière, aide à nettoyer aussi bien l'eau que l'air, et même les gaz de pot d'échappement.

Au total, le visiteur est immergé dans une œuvre de lumière qui, sans volonté d'être didactique, le transporte dans un univers d'émotions. Et pourtant, c'est de recherche scientifique de pointe qu'il est entouré!

Au fait, pourquoi *Platonium*? Ce nom renvoie au mythe de la caverne de Platon dans lequel des hommes enchaînés au fond d'une grotte ne perçoivent d'eux et du monde que des ombres projetées sur

les parois. Un jour, un homme se libère et découvre la vérité. Désormais éclairé, il revient près des siens et partage sa connaissance nouvelle. Les scientifiques ne sont-ils pas ici des passeurs de leur savoir? Dans l'allégorie de Platon, celui qui revient est très mal accueilli, ses congénères refusant de le croire. Rien de tel avec *Platonium*. ■

Pour en savoir plus:
www.cnrs.fr/platonium/



L'auteur a récemment publié:
**Pollock, Turner, Van Gogh,
Vermeer et la science...**
(Belin 2018)

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

DÉPRESSIONS SUR TERRE... ET DANS L'ÉVIER

Sur la planète, la direction des vents autour d'une dépression ou d'un anticyclone est déterminée par l'accélération dite de Coriolis. Selon une idée reçue, il en serait de même pour le sens du tourbillon dans un récipient qui se vide...

Le sens de rotation de l'eau dans un tourbillon d'évier dépend-il de l'hémisphère dans lequel on se situe ? Théorie et expériences répondent que non. On invoque souvent, comme origine de ce prétendu phénomène, l'accélération de Coriolis due à la rotation de la Terre sur elle-même. Comme nous le verrons, cette accélération est bien trop faible pour avoir un quelconque effet sur les écoulements de taille modeste. En revanche, elle a une influence sur les écoulements à l'échelle de la planète : elle détermine le sens de rotation des dépressions et des anticyclones et la direction des vents.

QUESTION DE POINT DE VUE

Pour saisir ce qu'est l'accélération de Coriolis, autant l'expérimenter par soi-même, par exemple dans le manège inertiel de la Cité des sciences et de l'industrie,

à Paris. Il s'agit d'une salle cylindrique close, sans aucune vue vers l'extérieur, mise en rotation si modérée (4 tours par minute) que la force centrifuge n'est pas perceptible. Tant que l'on reste immobile, on n'a donc pas conscience que le manège tourne. En revanche, dès que l'on marche, on ressent une force qui déporte nos jambes et qui est d'autant plus intense que nous nous déplaçons vite. De même, la trajectoire d'une balle (ou autre projectile) lancée à travers la salle est déviée latéralement, toujours dans le même sens, quelle que soit la direction du lancer.

D'où vient cette déviation ? Pour le comprendre, changeons d'établissement et rendons-nous quelques kilomètres plus loin au palais de la Découverte, où le manège inertiel est grand ouvert. Pour un observateur extérieur, les trajectoires (en projection horizontale) des balles sont toutes droites (voir l'encadré page ci-contre) : si un expérimentateur placé au

Dans l'hémisphère Nord, autour d'un anticyclone (en rouge sur la carte de météorologie marine), les vents tournent dans le sens horaire. C'est l'inverse autour d'une dépression (en bleu foncé).

centre du manège vise une cible à la périphérie et lance droit vers elle la balle, la vitesse initiale vue de l'extérieur est bien dirigée vers sa cible ; mais pendant le parcours rectiligne de la balle, la cible bouge et sera manquée !

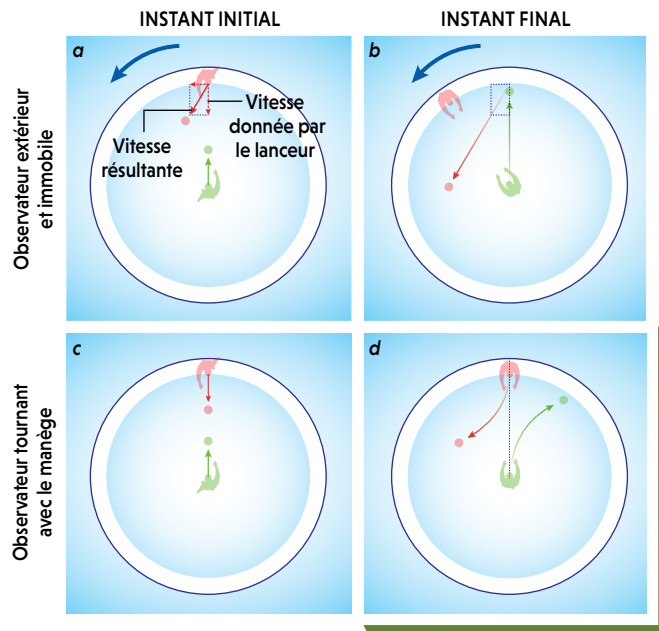
Pour la personne à l'intérieur, en revanche, la cible est immobile et c'est la balle qui est déviée. A *contrario*, si un expérimentateur à la périphérie vise une cible au centre, l'observateur extérieur verra que la vitesse initiale de la balle est la résultante de la vitesse imprimée de l'intérieur à la balle, correctement orientée vers la cible, et de la vitesse de l'expérimentateur en rotation. Elle sera donc





EFFETS DE MANÈGE

On considère deux personnes tournant dans un manège, l'une positionnée au centre, l'autre à la périphérie. À un instant donné, chacune lance une balle en direction de l'autre. La description des trajectoires diffère selon que l'on adopte le point de vue d'un observateur extérieur au manège et immobile (a et b), ou le point de vue d'un observateur solidaire du manège (c et d). Vues d'un observateur extérieur, les trajectoires des ballons dans le plan horizontal sont rectilignes. Vues d'un observateur tournant avec le manège, les deux trajectoires sont déviées vers leur droite si le manège tourne dans le sens antihoraire. La situation est analogue pour les déviations des vents dans l'hémisphère Nord.



de biais par rapport à la direction de la cible: encore raté!

Dans cet exemple, on a l'impression que la simplicité est du côté de l'observateur immobile, tandis que l'expérimentateur, en rotation, doit invoquer des accélérations supplémentaires, appelées accélérations d'inertie, pour interpréter les phénomènes. Pourquoi alors ne pas s'en tenir au point de vue de l'observateur?

On n'a parfois pas le choix, notamment lorsqu'on vit sur Terre qui, comme un manège, tourne sur elle-même. Que nous importe alors le régime des vents par rapport à des étoiles fixes: on veut

connaître leurs mouvements par rapport au sol. Ces derniers sont, pour l'essentiel, horizontaux. Mais contrairement au cas du manège, l'axe de rotation terrestre n'est pas dirigé selon la verticale du lieu, sauf aux pôles. Cela complique la description des mouvements, y compris pour un observateur extraterrestre et immobile.

ACCÉLÉRATIONS CENTRIFUGE ET DE CORIOLIS SUR TERRE

Restons donc sur notre Terre qui tourne. Pour décrire les mouvements des objets à sa surface, il faut, à l'accélération qui résulte des forces usuelles, ajouter deux accélérations d'inertie: d'une part,

l'accélération centrifuge, égale au produit de la vitesse du sol (due à la rotation) par la vitesse angulaire de rotation de la Terre; d'autre part, l'accélération de Coriolis, égale à deux fois le produit vectoriel de la vitesse de l'objet (par rapport au sol) par cette même vitesse angulaire de rotation.

On peut noter trois choses. Premièrement, la direction de l'accélération centrifuge ne dépend pas du sens de rotation, contrairement à celle de l'accélération de Coriolis. Deuxièmement, l'accélération centrifuge est nulle au pôle et atteint 0,03 mètre par seconde carrée (m/s^2) à l'équateur. Autrement dit, elle est au moins 300 fois plus faible que l'accélération due à l'attraction gravitationnelle de la Terre. L'accélération de ce que >

Les auteurs ont récemment publié: **En avant la physique!**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).



> nous appelons la pesanteur est la résultante des deux. La direction que définit un fil à plomb n'est donc pas tout à fait celle de la force de gravitation terrestre.

Troisièmement, l'accélération de Coriolis paraît très faible par rapport aux valeurs précédentes. À la vitesse d'un TGV, elle n'atteint, sous nos latitudes, que $0,01 \text{ m/s}^2$ en raison de la faible vitesse angulaire de rotation de la Terre ($4,2$ millidegrés par seconde). L'accélération de Coriolis se manifesterait-elle donc uniquement sous la forme de corrections à des mouvements contrôlés par d'autres forces ?

Pas lors des phénomènes météorologiques que sont les anticyclones et les dépressions, régions où la pression est respectivement plus élevée ou plus basse que la pression atmosphérique moyenne. La différence de pression entre le centre et la périphérie provoque en effet un mouvement d'air radial, équivalent à celui de la balle dans nos manèges inertiels.

Estimons l'accélération engendrée par les variations de pression. Comme la pression varie typiquement d'une cinquantaine d'hectopascals sur un millier de kilomètres, soit 5 millipascals par mètre, cela conduit, en divisant cette valeur par la masse volumique de l'air (environ 1 kg/m^3), à une accélération de l'air de $0,005 \text{ m/s}^2$. Or c'est la valeur de l'accélération de Coriolis pour des vents de 50 mètres par seconde. Ces deux accélérations sont donc comparables et, comme dans le manège, l'accélération de Coriolis se traduit, dans l'hémisphère Nord, par une déviation vers la droite du mouvement.

LE VENT TOURNE!

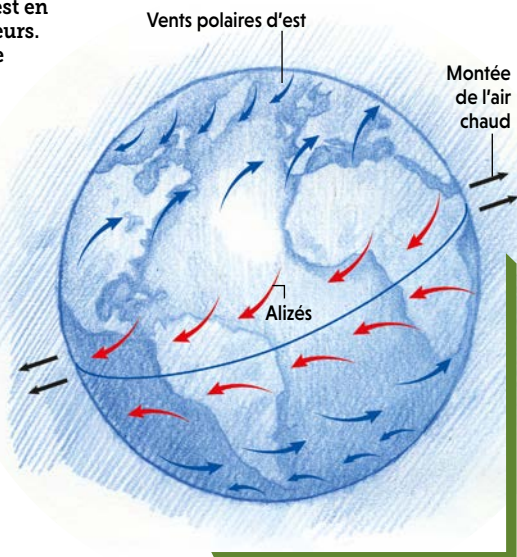
Dans cet hémisphère, pour un anticyclone où l'air circule du centre vers la périphérie, cette déviation entraîne un mouvement de rotation des vents autour du centre dans le sens horaire. Dans une dépression, en revanche, où l'air s'engouffre vers le centre, la rotation des vents est de sens antihoraire. Les sens sont inversés dans l'hémisphère Sud.

C'est aussi l'accélération de Coriolis qui détermine le sens des alizés. Au niveau de l'équateur, l'air, plus chaud qu'ailleurs, est moins dense et s'élève. Il s'ensuit une aspiration d'air depuis les zones de faibles latitudes vers l'équateur. Ce mouvement est dévié vers la droite et les vents vont donc d'est en ouest au voisinage de l'équateur, dans l'hémisphère Nord comme dans l'hémisphère Sud.

La déviation de Coriolis agit aussi sur les courants marins. Dans la Manche, par

ROTATION DE LA TERRE ET VENTS DOMINANTS

Au niveau de l'équateur, l'air est en moyenne plus chaud qu'ailleurs. Cet air est donc moins dense et tend à s'élever, par poussée d'Archimède. Il en résulte des mouvements d'air des latitudes voisines en direction de l'équateur : les alizés. En raison de l'accélération de Coriolis, ces vents sont déviés vers leur droite dans l'hémisphère Nord, et vers leur gauche dans l'hémisphère Sud : dans les deux cas, ce sont donc des vents soufflant vers l'ouest. De façon analogue, les pôles, où l'air est plus froid, sont la source de vents dirigés vers les latitudes moins élevées.



exemple, lorsque la mer monte, l'onde de marée remonte ce canal naturel vers le nord-est. L'accélération de Coriolis déporte l'onde vers la droite, donc vers la France; on peut en effet constater qu'au-delà de l'effet majeur de la physiologie des côtes, l'eau monte beaucoup plus à Dunkerque qu'à Portland, et inversement lors de la marée basse.

Revenons pour finir à l'évier qui se vide de son eau. Évaluons les accélérations. La forme de la surface liquide indique la présence d'une dépression au centre. Le dénivelé de la hauteur d'eau étant de l'ordre de 1 centimètre, on en déduit que la variation de pression au fond de l'évier est de 100 pascals sur une distance d'environ 1 centimètre, soit $10\,000$ pascals par mètre, d'où une accélération de 10 m/s^2 . Cette accélération vers le trou est largement compensée par l'accélération centrifuge due au mouvement circulaire de l'eau sur un rayon de quelques centimètres, mouvement dont la vitesse est de quelques centimètres par seconde.

En revanche, l'accélération de Coriolis, produite de cette vitesse par celle de la rotation de la Terre, vaut quelque 10^{-5} m/s^2 . Ainsi, en étant un million de fois plus faible que les autres accélérations mises en jeu, elle peut être masquée par la moindre petite perturbation. Le sens de rotation de l'eau lorsqu'elle s'évacue est donc dû soit aux très faibles mouvements initiaux de l'eau, soit à la forme de l'évier (ou de la baignoire). ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Moatti, **Le Mystère Coriolis**, CNRS Éditions, 2014 (sur Gaspard-Gustave de Coriolis et son œuvre).

A. Persson, **How do we understand the Coriolis force ?**, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79(7), pp. 1373-1385, 1998.

T. Gourieux, **Cours de dynamique du point**, dans *Mécanique du point*, université de Lorraine, sur <http://physique.dep.univ-lorraine.fr/>

DURÉE LIBRE