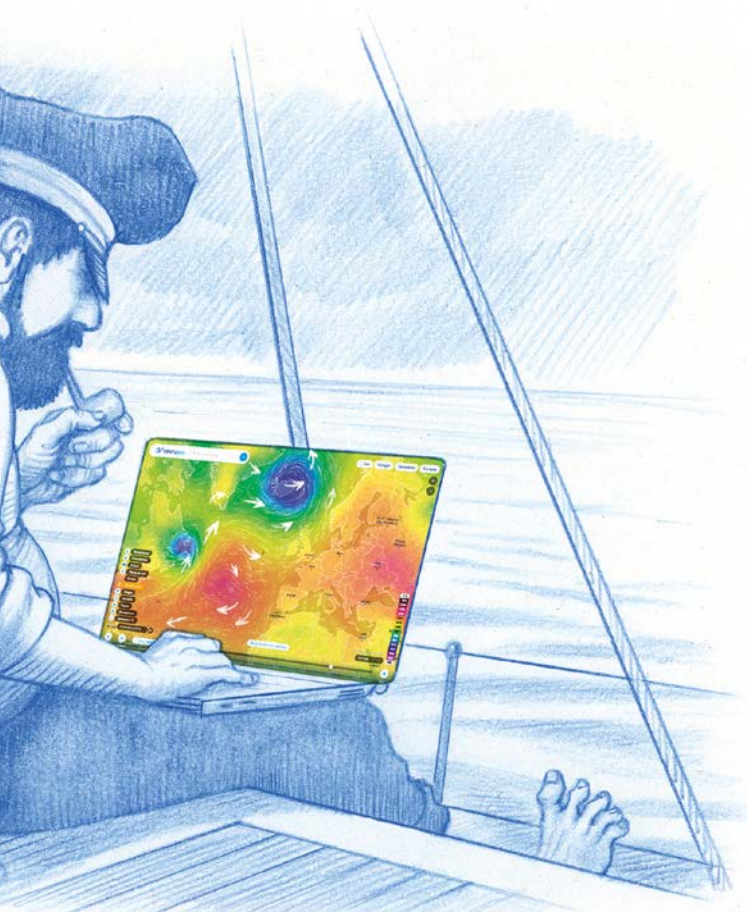
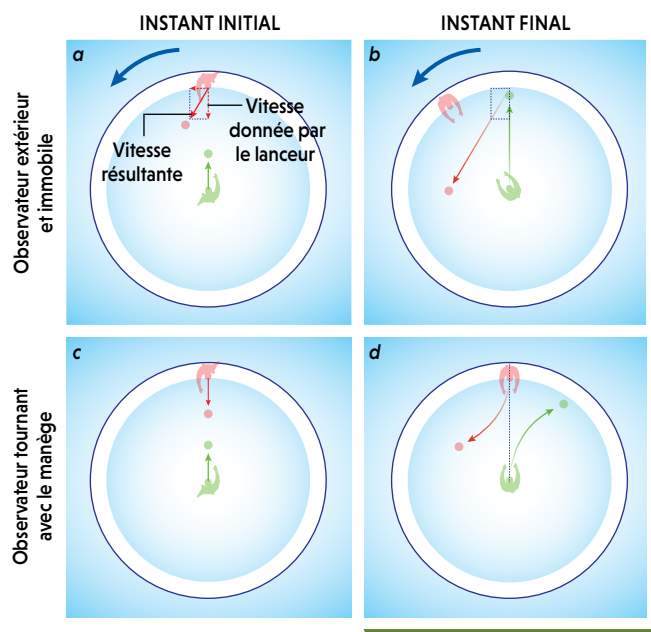




EFFETS DE MANÈGE

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 ($4,2 \text{ millidegrés}$ 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!

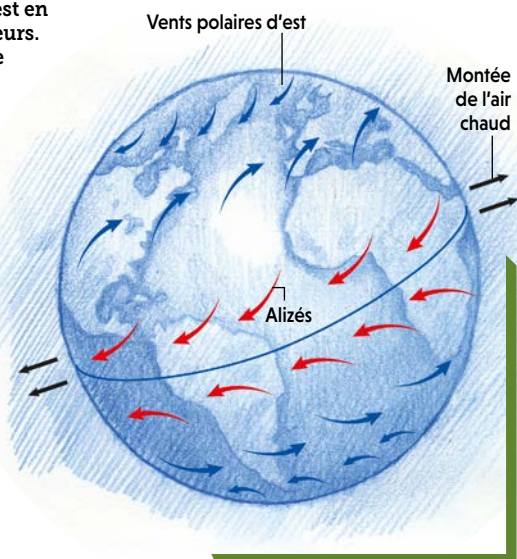
Dans cet hémisphère, pour un anticyclone où l'air circule du centre vers la périphérie, cette déviation entraîne un mouvement de rotation des vents autour du centre dans le sens horaire. Dans une dépression, en revanche, où l'air s'engouffre vers le centre, la rotation des vents est de sens antihoraire.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