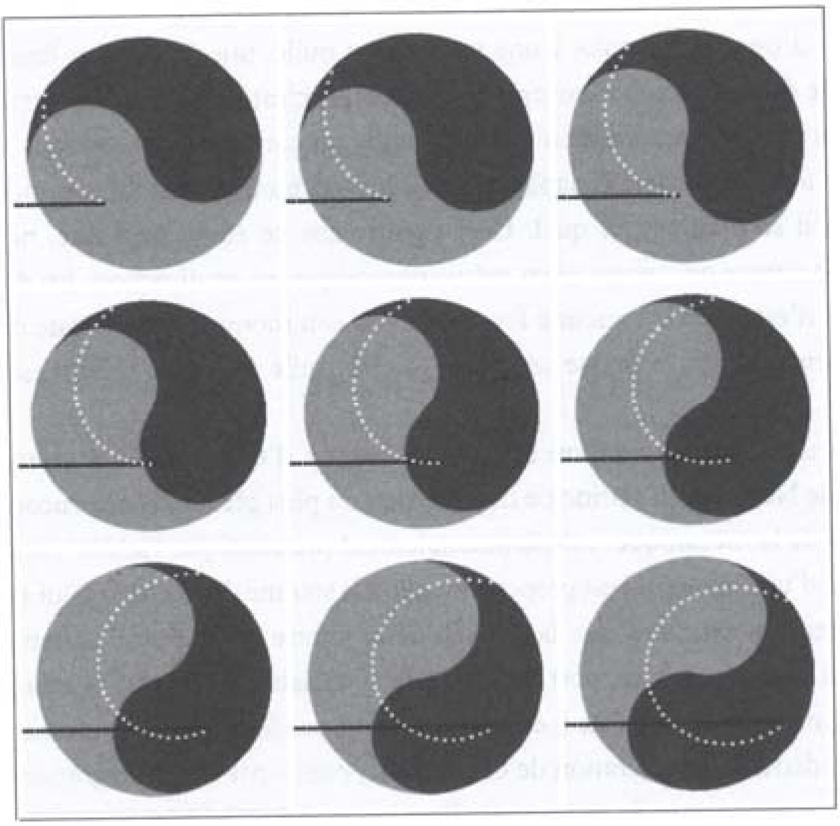
Référentiels en rotation :
la force de Coriolis et la force centrifuge

Dans un référentiel galiléen, l'accélération d'un mobile obéit à la deuxième loi de Newton (ou principe fondamental de la dynamique) :

$$F = m\, dv/dt$$

avec F la somme des forces extérieures s'exerçant sur le mobile, m sa masse et v sa vitesse. En particulier, si $F = 0$, le mobile se meut à vecteur-vitesse constant (c'est le principe de l'inertie).

Mais le référentiel terrestre n'est pas galiléen. En effet, la Terre tourne sur elle-même par rapport aux étoiles en près de 24 h. Si l'on s'intéresse à des phénomènes durant plus de quelques heures, comme c'est le cas en océanographie et en météorologie, on ne peut plus appliquer la deuxième loi de Newton. Quel est donc l'effet de la rotation sur le mouvement d'un mobile ?



Considérons, comme sur la figure ci-dessus, un mobile se déplaçant à vecteur-vitesse constant dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen (trajectoire noire) et observons son mouvement par rapport à un plateau en rotation dans le sens trigonométrique (trajectoire blanche).

Dans le référentiel du plateau, on voit que le mouvement est incurvé, suggérant qu'une force perpendiculaire à sa vitesse (par rapport au plateau) s'est exercée sur lui. Mais cette force ne correspond pas à une vraie interaction physique comme la gravité ou le magnétisme, mais seulement au passage dans un référentiel en rotation, car dans le référentiel du laboratoire, le mouvement du mobile est rectiligne uniforme. C'est une « force de référentiel ». Cette force qui s'exerce perpendiculairement à la vitesse est appelée **force de Coriolis**. Il existe une deuxième force de référentiel, la **force centrifuge** qui est dirigée de l'axe de rotation vers l'extérieur (que l'on ressent par exemple dans un bus lorsqu'il prend un virage — ce qui occasionne une rotation du bus par rapport à la route).

L'équation qui régit le mouvement dans un référentiel non galiléen s'écrit donc :

$$F + F_{\text{Coriolis}} + F_{\text{centrifuge}} = m\, dv/dt$$

qui est finalement comme la deuxième loi de Newton, avec $F_{centrifuge}$ et $F_{Coriolis}$ comme des forces supplémentaires. Détaillons brièvement ce que sont ces forces dans le cas du référentiel terrestre :

La force de Coriolis

C'est une force perpendiculaire à la fois à l'axe de rotation et à v. Son intensité est $2m.\Omega.v.\sin\beta$ avec $\Omega = 7{,}3\ .\ 10^{-5}$ rad/s la vitesse angulaire de la Terre et β l'angle entre v et l'axe de rotation. Le sens de la force est donné par la « règle du tire-bouchon » : c'est le sens dans lequel avance un tire-bouchon, si on le fait tourner dans le sens du vecteur v vers l'axe de rotation (orienté vers le nord).

Si on s'intéresse à des mouvements parallèles à la surface de la Terre, la force de Coriolis sera donc vers la droite (par rapport au vecteur-vitesse) dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. La force de Coriolis est négligeable vers l'équateur, et augmente en importance aux grandes latitudes.

La force centrifuge

C'est une force perpendiculaire à l'axe de rotation et dirigée vers l'extérieur, suivant une droite qui relie l'axe de rotation à la position du mobile. Son intensité est $m\Omega^2 R_T\cos\lambda$, avec $R_T \approx$ 6400 km le rayon de la Terre et λ la latitude. La force centrifuge occasionne ainsi une petite correction à la force de pesanteur.