

LA FORCE DE CORIOLIS

Avez-vous déjà essayé de jouer au “tir au pigeon” à l’occasion d’une fête foraine ? Atteindre une cible immobile n’est déjà pas chose facile, alors si la cible est en mouvement...

Imaginez la même chose à l’échelle du globe terrestre, avec par exemple un projectile tiré depuis un hélicoptère en vol stationnaire au-dessus du pôle nord (à travers le cockpit, le pilote peut voir la Terre tourner sous ses pieds...), ce projectile visant une cible immobile située à l’équateur...

Bien poser le problème...

Le problème se pose ainsi : aussitôt lancé, le projectile adopte une trajectoire rectiligne (principe de Newton, si on suppose que le tir est observé à partir du Soleil), tandis que la cible, bien qu’immobile, décrit en permanence un mouvement de rotation confondu avec celui de la Terre puisque que celle-ci tourne sur elle-même.

Vu de la Terre cette fois, le projectile paraît dévié de sa trajectoire normale comme s’il subissait l’action d’une force. C’est cela la force de Coriolis.

De Paris à l’équateur...

Quelle serait la trajectoire du projectile si, au lieu d’être lancé depuis un hélicoptère au pôle nord, il était lancé depuis le sol à Paris ?

La Terre tournant sur elle-même et ayant une forme sphérique, tout point de la surface du globe est animé d’une vitesse circonférentielle qui est proportionnelle à la distance le séparant de l’axe de rotation de la Terre, autrement dit qui est inversement proportionnelle à sa latitude.

Cette vitesse, évidemment nulle aux pôles, atteint 300 m.s^{-1} à Paris ($48^\circ 51'$ de latitude nord) et 464 m.s^{-1} à l’équateur.

Si on observe le tir à partir du Soleil, si on néglige la gravitation et la résistance de l’air, on constate que le projectile décrit une trajectoire rectiligne munie de deux vecteurs vitesse perpendiculaires et de modules constants. L’un de ces vecteurs est orienté vers le sud, c’est à dire vers sa cible située à l’équateur, il correspond à la vitesse du projectile proprement dite. L’autre vecteur est orienté vers l’est, c’est à dire dans le sens de rotation de la Terre, il correspond à la vitesse circonférentielle du lieu où s’est effectué le tir.

Ceci n’aurait aucune incidence sur la précision du tir si le projectile et la cible avaient des vitesses circonférentielles rigoureusement identiques, or ce n’est précisément

pas le cas. Au contraire même, puisque cette différence s'accroît au fur et à mesure que le projectile se rapproche de sa cible. Tout se passe donc comme si la cible se dérobaient devant le projectile.

Vu de la Terre cette fois, le projectile paraît dévié de sa trajectoire normale, comme s'il subissait l'action d'une force. C'est cela la force de Coriolis.

Qui était Coriolis ?

Gaspard Coriolis (1792-1843) était un ingénieur militaire français.

Son œuvre majeure a consisté à régler les problèmes d'artillerie et de balistique qui, au début du XIXe siècle, devenaient plus ardues avec les progrès des tirs à longue distance (plusieurs dizaines de kilomètres).

Ces problèmes ne se posaient pas à l'époque de Newton, 150 ans plus tôt et ne se posent plus aujourd'hui avec les bombes à guidage laser.

Force ou effet ?

La force de Coriolis est une force apparente. Comme toutes les forces apparentes (il n'y en a que trois : la force d'inertie, la force centrifuge et la force de Coriolis !), c'est une force fictive qui n'a pas d'existence réelle.

C'est pourquoi les physiciens préfèrent parler d'"*effet Coriolis*" plutôt que de force afin de bien distinguer l'effet et la cause. L'effet Coriolis, d'ailleurs prédit par Newton dans son traité paru à Londres en 1687 ("*Principes...*") n'est pas dû à une force, il ne s'explique que par le mouvement naturel de rotation de la Terre.

Ainsi il n'y a pas d'effet Coriolis sur la Lune, pas plus que sur n'importe quelle autre planète dépourvue de rotation sur elle-même.

L'autre "effet Coriolis"...

L'effet Coriolis affecte non seulement la trajectoire des projectiles mais aussi celle des objets qui tombent en chute libre à la surface de la Terre, pour la même raison qui est la différence de vitesse circonférentielle entre les points de début et de fin de chute.

Cet effet, appelé "*effet Coriolis vertical*" pour le distinguer de l'"*effet Coriolis horizontal*" décrit plus haut, est évidemment inexistant aux pôles puisque la vitesse circonférentielle de la surface de la Terre y est nulle. Il est maximal à l'équateur. Entre le pôle et l'équateur, il dépend de la latitude du lieu et de la hauteur de chute.

Pour comprendre ce phénomène, il suffit de réaliser une expérience très simple qui consiste à faire rouler une bille sur une table. Dès que la bille arrive au bord de la table, elle tombe. Cependant elle n'atteint pas le sol exactement à la verticale du bord de la table, mais légèrement à côté, à cause de sa vitesse initiale.

Et plus sa vitesse initiale est grande, plus cet écart est important.

Imaginons maintenant cette même bille lâchée sans vitesse initiale du haut de la tour Eiffel à Paris (320 mètres de hauteur). On néglige la résistance de l'air et les turbulences, autrement dit on raisonne comme si la bille tombait dans un vide parfait.

La vitesse circonférentielle du sommet de la tour Eiffel est de $0,015 \text{ m.s}^{-1}$ supérieure à celle du pied.

Ce vecteur vitesse étant perpendiculaire à la trajectoire de chute, tout se passe comme si la bille tombait avec une vitesse initiale horizontale en apparence nulle au début de la chute mais en accroissement constant au fur et à mesure qu'elle se rapproche du sol.

Pour l'observateur, la bille décrit une trajectoire qui s'incurve au fil de sa chute, comme si elle subissait l'action d'une force transversale. Elle atteint donc le sol non pas exactement à la verticale du point où on l'a lâchée, mais légèrement à côté.

Étant donné le sens de rotation de la Terre, cette déviation est orientée vers l'est.

Un ordre de grandeur

Une série de calculs, certes un peu compliqués, montre qu'une masse quelconque lâchée du haut de la Tour Eiffel (8 secondes de chute) n'est déviée par l'effet Coriolis que de moins de 10 centimètres lorsqu'elle arrive au sol (on néglige la résistance de l'air et les turbulences) !

On en déduit que l'effet Coriolis est négligeable sur une faible distance ou sur une courte durée.

Quelques idées reçues sur l'effet Coriolis...

Les marées sont des oscillations permanentes des masses liquides dues à l'attraction de la Lune et du Soleil. Néanmoins ces phénomènes ne sont perceptibles qu'à grande échelle et sur d'immenses étendues, il est absolument impossible d'en ressentir les effets sur les rives d'un lac ou au bord d'une piscine.

De même, l'effet Coriolis est bien trop faible pour jouer un rôle quelconque dans l'écoulement de l'eau d'un lavabo ou d'une baignoire : il faudrait un immense lac rond de

plusieurs kilomètres carrés de surface et muni d'une bonde centrale en forme d'entonnoir pour qu'il se manifeste de manière sensible.

L'effet Coriolis n'affecte pas non plus le mouvement des automobiles car celles-ci sont en permanence en contact avec le sol. Et même si on considère les voitures de rallyes qui décollent du sol au passage des bosses, leurs sauts sont d'une portée trop courte et d'une durée bien trop brève pour être affectés en quoi que ce soit par l'effet Coriolis. Il n'y a pas d'effet Coriolis en automobile ! Qu'on se le dise !

Encore une histoire de référentiel !...

La théorie des référentiels (lire le dossier ADILCA "*les référentiels*") s'adapte ainsi au problème de la trajectoire d'un projectile lancé depuis la Terre :

- ici, le référentiel général est le Soleil (référentiel *copernicien*, du nom de Nicolas Copernic qui, le premier, formula la théorie héliocentrique), référentiel à partir duquel on peut observer à la fois le mouvement de rotation de la Terre et la trajectoire réelle du projectile,

- ici, le référentiel restreint est la Terre (référentiel *galiléen*, du nom de Galiléo Galilée qui confirma la théorie de Copernic), référentiel à partir duquel on observe uniquement la trajectoire du projectile, comme si la Terre avait cessé de tourner sur elle-même.

Dans le référentiel copernicien, l'effet Coriolis n'existe pas, il n'existe que dans le référentiel galiléen, ce qui interdit alors toute description du mouvement de rotation de la Terre, les deux descriptions ne pouvant se superposer.

Force de Coriolis : la vraie définition !

Lisez le dossier ADILCA sur la statique et la dynamique ("*statique et dynamique*"), vous pourrez alors mieux comprendre cette définition complètement inédite de la force de Coriolis :

"On appelle force de Coriolis la force transversale qu'il faudrait exercer sur un projectile quelconque ou sur une masse quelconque tombant en chute libre, si la Terre cessait de tourner sur elle-même, ceci afin d'obtenir une déviation de trajectoire identique à celle qu'il (elle) donne l'illusion de décrire lorsqu'on l'observe depuis la Terre."

association ADILCA

www.ifrance.com/adilca

* * *