

Projet Atmosphère Canada



MODULE

4

L'effet de Coriolis

Manuel du maître



Canadian Meteorological
and Oceanographic
Society

La Société Canadienne
de Météorologie et
d'Océanographie



Environnement
Canada

Environment
Canada

Canada

Projet Atmosphère Canada

Né d'une initiative et de la collaboration entre Environnement Canada et la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie (SCMO), le « Projet Atmosphère Canada (PAC) » s'adresse aux enseignants du niveau primaire et secondaire partout au Canada. Ce projet est conçu pour stimuler l'intérêt des jeunes en regard de la météorologie ainsi que pour favoriser et encourager l'enseignement des sciences de l'atmosphère et de celles qui s'y rattachent, au niveau primaire et secondaire, au Canada.

Toute matière adaptée ou reproduite du « Project ATMOSPHERE teacher's guides », est présentée avec l'autorisation de la « American Meteorological Society (AMS) »

Remerciements

Le Service météorologique du Canada, avec la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie, expriment leur gratitude à l'« American Meteorological Society » pour le soutien et l'aide reçus dans la préparation de cet ouvrage.

Un projet tel que le PAC ne se réalise pas du jour au lendemain. Depuis la transcription électronique à partir des exemplaires de l'AMS en passant par la révision, rédaction, examen critique, traduction, conception graphique et enfin par la mise en page définitive, il aura fallu des jours, des semaines, voir même des mois d'un effort soutenu pour en arriver au produit final. Je voudrais souligner la contribution importante apportée tant par le personnel d'Environnement Canada que par les membre de la SCMO d'un bout à l'autre du pays, ainsi que par le milieu scientifique global qui a autorisé l'utilisation de ses travaux dans le PAC, « manuels du maître ».

Au nom d'Environnement Canada et de la Société canadienne de Météorologie et d'Océanographie :
Eldon J. Oja
Chef de projet - Projet Atmosphère Canada

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système de recherche informatique ou transmise, sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit (électronique, mécanique, par photocopie, enregistrement ou autre), sans l'assentiment écrit préalable de l'éditeur. L'autorisation est donnée, par les présentes, de reproduire, sans la modifier, la matière contenue dans cette publication, à des fins pédagogiques non commerciales, à condition que la source de la matière soit indiquée. Cette autorisation ne s'applique pas aux transmissions par voie électronique.

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2001

Publié par Environnement Canada
Number de cat. : En56-172/2001F-IN
ISBN 0-662-86593-6

Table des matières

Introduction	2
Notions élémentaires	3
Activité	6

MODULE 4

L'effet de Coriolis

Introduction	Notions élémentaires	Activité
Page 2	Page 3	Page 6

INTRODUCTION

On trouve, dans l'atmosphère et les océans, de nombreux cas de mouvements s'effectuant à l'horizontale suivant des trajectoires incurvées. Les vents de surface s'engouffrent dans les zones de basse pression atmosphérique ou s'échappent des zones de haute pression en tourbillonnant. Les courants océaniques se déplacent en immenses tourbillons quasi circulaires dont le diamètre atteint plusieurs milliers de kilomètres. Presque partout sur terre, sauf à l'équateur, les objets qui se déplacent librement à l'horizontale, comme les avions et les bateaux, voient leur trajectoire déviée vers la droite ou vers la gauche. La déviation de la trajectoire de ces objets mouvants, considérée de notre point de vue sur terre, s'appelle « **effet de Coriolis** ».

Pourquoi cette incurvation des trajectoires ? Les objets qui se déplacent à l'horizontale « librement » (sans subir de contraintes) ne sont-ils pas censés suivre une trajectoire rectiligne ? Comme le décrit la première loi de Newton, un objet qui se déplace poursuit sa trajectoire suivant une ligne droite jusqu'à ce qu'une force extérieure agisse sur lui. Cependant, il n'existe pas de force horizontale agissant sur un objet se déplaçant librement à la surface terrestre qui provoquerait une déviation de sa trajectoire vers la gauche ou vers la droite. Néanmoins, sauf à l'équateur, la trajectoire de l'objet subit bel et bien une telle déviation. Si aucune force horizontale ne s'exerce pour provoquer cette déviation, il doit bien y avoir une autre explication. Cette explication existe, et elle s'appelle la rotation de la terre.

Tout mouvement doit être mesuré par rapport à un certain système de référence; en l'occurrence, c'est la terre qui nous sert de système de référence. La terre est tellement grande que nous la percevons comme stationnaire. C'est pourquoi les objets qui se déplacent à l'horizontale et sans contrainte semblent dévier vers la gauche ou la droite. En fait, c'est la terre qui tourne pendant que l'objet progresse.

L'effet de la rotation de la terre sur les objets qui se déplacent horizontalement est à son maximum aux pôles. L'effet de Coriolis décroît avec la latitude et devient nul à l'équateur. Dans l'hémisphère nord, la terre tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (en voyant les choses du pôle Nord). Les objets qui se déplacent dans l'hémisphère nord paraissent donc toujours dévier vers la droite. Dans l'hémisphère sud, c'est l'inverse qui se produit, car la rotation de la terre s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre, si nous voyons les choses du pôle Sud. Là, les objets qui se déplacent à l'horizontale semblent dévier vers la gauche.

Pour expliquer l'effet de Coriolis, les scientifiques ont inventé une force imaginaire appelée **force de Coriolis**. La force de Coriolis, en agissant en conjonction avec des forces réelles, telles que la friction ou la force due au gradient de pression, détermine les mouvements des objets selon les lois de Newton. Par définition, la force de Coriolis s'exerce toujours perpendiculairement à la direction du mouvement : vers la droite dans l'hémisphère nord, ce qui explique la déviation vers la droite, et vers la gauche dans l'hémisphère sud, ce qui rend compte de la déviation vers la gauche. Tout ceci à cause de la rotation de la terre !

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES

Mouvement

1. Le mouvement se définit comme le changement continu de la position d'un objet.
2. Tout mouvement est relatif, c'est-à-dire qu'il doit être considéré à l'intérieur d'un système de référence. En général, c'est la terre que nous prenons comme système de référence, comme par exemple lorsque nous mesurons la vitesse d'une voiture. Cependant, une personne qui marche dans un avion, un train ou sur un bateau pourrait prendre ces véhicules comme système de référence.
3. Le terme *vitesse* décrit la rapidité à laquelle un objet se déplace. La vitesse est l'intensité du mouvement. On peut décrire un mouvement complètement en indiquant la vitesse et la direction. Cette description correspond à la *vélocité*.
4. Un mouvement est provoqué par des forces (poussées ou tractions) qui s'exercent sur un objet. Sir Isaac Newton a étudié le mouvement et énoncé les lois fondamentales qui expliquent ses observations. Sa première loi stipule qu'un objet au repos tend à rester inerte et qu'un objet qui se déplace progresse selon une trajectoire rectiligne à vitesse constante jusqu'à ce qu'une force extérieure s'exerce sur lui. Une autre de ses lois décrit comment une force extérieure peut accélérer ou ralentir l'objet ou bien modifier sa trajectoire.

Mouvement à l'horizontale sur la terre

5. Un objet qui se déplace horizontalement et librement (sans contrainte et sans subir de force extérieure horizontale) à la surface terrestre au niveau **de l'équateur**

suit une trajectoire rectiligne par rapport à la surface terrestre, conformément à la première loi de Newton.

6. **Partout sauf à l'équateur**, les objets qui se déplacent horizontalement et librement à la surface terrestre suivent des trajectoires incurvées (en considérant les choses de la terre). Dans l'hémisphère nord, les objets dévient vers la droite par rapport à la direction du mouvement, tandis que dans l'hémisphère gauche, ils dévient vers la gauche. Cette déviation est appelée **effet de Coriolis**, d'après le scientifique Gaspard Gustave de Coriolis.
7. Cet effet de Coriolis s'explique par la rotation de la terre. En effet, sauf à l'équateur, la terre tourne sous tout objet qui se déplace horizontalement et librement. Puisque le mouvement se mesure par rapport à la terre, il paraît suivre une trajectoire incurvée.
8. Partout dans l'hémisphère nord, la terre tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, si l'on considère les choses du pôle Nord. La déviation observée s'effectue donc toujours vers la droite par rapport à la direction du mouvement.
9. Partout dans l'hémisphère sud, la terre tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, si l'on considère les choses du pôle Sud. La déviation observée s'effectue donc toujours vers gauche par rapport à la direction du mouvement.
10. Étant donné qu'à l'équateur, il n'y a pas de rotation de la surface de la terre (sens de la rotation) sous un objet se déplaçant horizontalement et librement, on n'observe pas d'incurvation de la trajectoire par rapport à la surface terrestre. La trajectoire de l'objet est rectiligne, elle ne présente donc pas d'effet de Coriolis.

11. Les effets de la rotation de la terre sur les objets se déplaçant horizontalement et librement atteignent leur maximum aux pôles; par conséquent, c'est aux pôles que l'effet de Coriolis est le plus marqué.
12. À mesure que décroît la latitude de l'objet se déplaçant horizontalement et librement, la déviation due à la rotation de la planète diminue. L'effet de Coriolis décroît donc avec la latitude. Cet effet s'exerce au maximum aux pôles et est nul à l'équateur.

Force de Coriolis

13. L'effet de Coriolis s'explique du fait que le mouvement se mesure dans un système de référence soumis à une rotation. Il n'existe pas de force extérieure agissant sur un objet se déplaçant horizontalement et librement qui causerait la déviation de la trajectoire observée.
14. Pour expliquer l'effet de Coriolis, les scientifiques ont inventé une force imaginaire qu'ils ont nommée *force de Coriolis*. On a procédé ainsi afin de pouvoir appliquer les lois de Newton aux mouvements mesurés par rapport à la surface terrestre.
15. Par définition, la force de Coriolis s'exerce toujours perpendiculairement à la direction du mouvement. Puisque, dans l'hémisphère nord, le sens de la rotation de la terre vu du pôle est l'inverse de ce qu'il est dans l'hémisphère sud, cette force se définit aussi comme s'exerçant toujours à droite dans l'hémisphère nord et toujours à gauche dans l'hémisphère sud.
16. Par définition également, la force de Coriolis est directement proportionnelle au sinus de la latitude. Cette fonction rend compte de l'incurvation de plus en plus prononcée des trajectoires à mesure que

croît la latitude. La fonction trigonométrique sinus est égale à zéro pour un angle de zéro degré (latitude de l'équateur) et à 1 (maximum) à un angle de 90 degrés (latitude polaire).

Applications à l'atmosphère et aux océans

17. Les masses d'air se déplaçant horizontalement dans l'hémisphère nord sont constamment attirées vers la droite par la force de Coriolis. Ce phénomène pousse l'air, qui subit des forces de pression horizontales, à virer vers la droite au lieu de s'écouler directement vers la zone de pression atmosphérique moindre. Autour des centres de basse pression, la combinaison des forces donne des mouvements circulaires dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, si l'on contemple les choses d'en haut. Autour des centres de haute pression, l'air qui s'écoule vers l'extérieur est aussi poussé vers la droite, ce qui produit des mouvements circulaires dans le sens des aiguilles d'une montre.
18. Le rôle de l'effet de Coriolis prend de l'ampleur à mesure qu'augmente la superficie sur laquelle il s'exerce. L'effet de Coriolis est négligeable sur les mouvements qui se déroulent à très petite échelle, comme dans le tourbillon que forme l'eau qui s'écoule d'un évier. Les systèmes orageux, comme les cyclones à ondulation des latitudes moyennes et les ouragans, présentent des mouvements soumis à la force de Coriolis. Ces systèmes ne peuvent exister à l'équateur et ils ne peuvent passer de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud et vice versa, car ils ne peuvent exister sans l'effet de Coriolis.
19. Dans l'hémisphère sud, la traction continue vers la gauche exercée par la force de Coriolis produit une circulation dans le sens

des aiguilles d'une montre autour des centres de basse pression et des mouvements dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour des centres de haute pression.

20. À l'échelle planétaire, la force de Coriolis contribue au maintien des zones de vents et des courants aériens en haute altitude, dont les courants jets.
21. Les eaux de surface mises en mouvement par le vent sont déviées par l'effet de Coriolis, vers la droite du vent dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.
22. Poussés par les vents dominants, les grands systèmes de courants plus ou moins circulaires, appelés tourbillons océaniques, tournent dans le sens des aiguilles d'une montre (vu d'en haut) dans les bassins océaniques de latitudes moyennes de l'hémisphère nord, et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud.
23. Les eaux de surface en mouvement agissent sur les eaux situées en profondeur, qui sont déviées encore davantage par l'effet de Coriolis. Le résultat final est que le transport net de l'eau sur la colonne poussée par les vents se situe à 90 degrés à la droite de la direction du vent dans l'hémisphère nord et à la gauche de la direction du vent dans l'hémisphère sud. C'est ce qu'on appelle l'écoulement **de la couche d'Ekman**.
24. Les vents soufflant parallèlement à la côte peuvent transporter les eaux de surface vers le rivage ou en sens contraire, selon la direction du vent, l'orientation de la côte et l'hémisphère (qui détermine la direction dans laquelle la force de Coriolis agit). Lorsque les vents éloignent les eaux de surface du rivage, de l'eau froide remonte à la surface. Ce phénomène s'appelle *remontée ou résurgence des eaux profondes* (courant ascendant).
25. Dans les estuaires, l'effet de Coriolis a tendance à pousser le flux de la marée et les eaux fluviales qui s'écoulent dans la mer vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud. Ceci provoque un renforcement de l'afflux d'eau de mer d'un côté de l'estuaire et d'eau douce fluviale de l'autre.